

超深井随钻测量仪器适应性分析

李文凯 兰凯 孙豫红

中石化中原石油勘探局钻井工程技术研究院

李文凯等.超深井随钻测量仪器适应性分析.天然气工业,2011,31(6):81-84.

摘要 随着对深部油气藏的陆续开发,深井超深井数量逐步增多。由于井深的增加,对随钻测量仪器的抗高温、耐高压性能都提出了更高的要求,同时长距离传输的脉冲信号衰减超出仪器解码范围的问题也屡见不鲜,制约了上述仪器的使用。通过在川东北多个工区的随钻测量实践,总结了不同井深和温度条件下随钻测量仪器的选用原则:①垂深在5 000 m以内的井,有很多MWD仪器可供选择;②垂深介于5 000~6 000 m的井,如果井底温度不超过130℃、井底循环压不超过17 000 psi(约117 MPa),HALLIBURTON公司生产的MWD仪器以其工作的稳定性高得到比较普遍的认可,若温度或压力超过这个指标,则可用BAKER HUGHES公司生产的MWD仪器或GE公司生产的GEOLINK MWD仪器;③垂深超过6 000 m时,推荐使用BAKER HUGHES公司生产的MWD仪器或GE公司生产的GEOLINK MWD仪器,若温度进一步升高或改良脉冲信号的措施无法实施时,则要引入抗温性能更高的MWD仪器。还结合工程实例体会,进一步总结了不同仪器在超深井中的适用情况及改良措施。

关键词 深井 超深井 随钻测量 仪器 适用性 选用原则 四川盆地东北部

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.06.017

随着中国石油化工股份有限公司(以下简称中国石化)对南方海相碳酸盐岩储层油气藏的勘探开发工作的持续推进^[1-4],在川东北地区出现了一大批井深超过6 000 m(甚至超过7 000 m)的超深定向井或水平井。由于井深的增加,出现了井底温度高、压力大、信号质量差等问题,制约了随钻测量仪器的使用范围,对于保证井眼质量、最大限度地发现油气藏产生了不利影响。中国石化中原油田普光分公司在普光气田开发和元坝区块的勘探中,积累了大量的经验,总结了MWD随钻测量仪器在超深井中的使用情况及改良措施,为超深井的随钻测量提供了借鉴。

1 超深井随钻测量难点

在川东北地区,中国石化为开发海相碳酸盐岩气藏部署了一大批超深井。在普光气田,主体部分共部署6口水平井,平均设计井深为6 591.96 m;在大湾区块,共部署9口水平井,平均设计井深为6 105.1 m;在元坝地区,2010年部署的水平井约5口,平均设计井

深约7 620 m,垂深大于6 700 m。

1.1 对仪器抗温性能提出更高的要求

对于井深超过6 000 m的井,以地温梯度2.3℃/100 m计算,井底静止温度接近160℃,循环温度可达140℃左右,国内市场现有的很多仪器已不能满足实际施工的需要。比如元坝2井在5 600 m井深仪器测温达到131℃,多支队伍因探管在高温下的加速损坏而无法顺利完成施工任务。

1.2 井底压力高对仪器抗压性能提出考验

由于超深井在钻井过程中所钻遇地层的复杂性,地层压力变化较大,继而钻井液密度变化大,在钻进过程中一般来说井底钻井液压力要大于地层压力。在普光、大湾等区块钻井液密度大多介于1.3~1.5 g/cm³,在元坝地区钻井液密度有时可达到2.1 g/cm³。此时,如果井底垂深超过6 000 m,则在钻进过程中井下仪器所承受的压力将超过18 000 psi(约124 MPa,1 psi=0.006 895 MPa,下同);如果井底垂深超过6 500 m则仪器所承受的压力将超过20 000 psi(约138

MPa,下同)。

1.3 钻井液黏度大会影响脉冲信号的传输距离

由于超深井在钻井过程中所钻遇地层的复杂性,为满足携砂要求,设计的钻井液黏度较大;而钻井液黏度大会导致压力波的幅值在单位传输距离内更大的衰减^[5],最终导致地面压力传感器接收不到有效信号^[6]。

2 国内主要 MWD 仪器特点及选用原则

目前国内用于随钻测量的仪器有多个种类、多个生产厂家^[7-8],如美国 HALLIBURTON 公司生产的适用于各种排量的 MWD 或 LWD 仪器;美国 GE 公司生产的 QDT 和 GEOLIN K MWD;美国 BAKER HUGHES 公司生产的 MWD 仪器;俄罗斯一家公司生产的 ZTS-AP 随钻测量仪器;国内多个厂家也生产有各种 MWD 仪器。

2.1 国内现有主要泥浆脉冲 MWD 仪器的特点

2.1.1 美国 HALLIBURTON 公司生产的 MWD 仪器

美国 HALLIBURTON 公司生产的 MWD 仪器根据所允许通过的排量大小分为 1 200、900、650、350、Slimhole 和 Superslim 等类,根据其抗高温、高压性能分为普通仪器和高温、高压仪器,但由于其对中国出口的限制,国内各油田都还没有引进其高温、高压仪器。该公司所生产的普通仪器的井下部分标称耐温 140℃、耐压 18 000 psi,采用正脉冲信号传输数据。这种仪器长期在井下工作实际耐受温度可达 130℃,如果长时间处于接近 140℃的临界状态,探管工作将不稳定甚至损坏。

2.1.2 美国 GE 公司生产的 GEOLINK MWD 仪器

GEOLINK MWD 仪器有正负脉冲两种,也有普通和高温高压之分。该公司生产的高温高压仪器 ORIENTEER2 HTHP 属于负脉冲仪器,标称耐温 165℃、耐压 23 000 psi(158.56 MPa)。在实际应用过程中,国内公司尚没有应用于如此严酷的环境条件下,因为随着井深的增加,信号越来越弱,井深一旦超过 6 000 m 将出现解码困难,而要想满足信号强度的需要则必须增加底部钻具压降到 800 psi(5.5 MPa)以上,且钻井液漏斗黏度应小于 70 s,现场实际情况不一定能满足这一要求。这种仪器在新疆地区曾用到井深 6 500 m。

2.1.3 美国 GE 公司生产的 QDT MWD 仪器

美国 GE 公司生产的 QDT MWD 仪器是一种正脉冲 MWD 仪器,普通仪器标称耐温 150℃、耐压

20 000 psi。该公司还生产 QDT 高温仪器,国内辽河油田和北京安东石油公司引进有这种仪器,曾在循环温度 140℃的环境下成功应用。

2.1.4 美国 BAKER HUGHES 公司生产的 MWD 仪器

国内大庆油田、大港油田有该公司的 MWD 产品,标称耐温 150℃、耐压 20 000 psi,实际应用中有达到 140℃的先例,属正脉冲仪器,在新疆地区曾用到井深 6 500 m。

2.1.5 各种国产 MWD 仪器

目前国内有多个厂家生产多种 MWD 仪器,标称耐温 125℃或 150℃、耐压 18 000 psi。国产仪器的性能在不断提高、应用范围也在不断拓展,但与进口仪器相比,产品功能不够丰富、性能上仍显不足。

2.2 MWD 仪器的选用原则

实践证明,对于垂深在 5 000 m 以内的井,有很多 MWD 仪器可供选择,至于定向作业能否顺利进行将取决于其他一些因素。

对于垂深介于 5 000~6 000 m 的井,如果井底温度不超过 130℃、井底循环动压不超过 17 000 psi(117.2 MPa),HALLIBURTON 公司生产的 MWD 仪器以其工作的稳定性高得到比较普遍的认可。如果温度或压力超过这个指标,则可用 BAKER HUGHES 公司生产的 MWD 仪器或 GE 公司生产的 GEOLINK MWD 仪器。

对于垂深超过 6 000 m 的井,循环温度都应超过 130℃,推荐使用 BAKER HUGHES 公司生产的 MWD 仪器或 GE 公司生产的 GEOLINK MWD 仪器;在循环温度超过 140℃的情况下,立足现有条件推荐使用 GEOLINK MWD 仪器。如果要用 GEOLINK MWD 仪器,底部钻具压降应处于 800 psi 以上且钻井液漏斗黏度应小于 70 s。

对于垂深超过 6 000 m,若温度条件或其他条件限制 BAKER HUGHES 和 GEOLINK MWD 应用的,则只有引进国外更先进的 MWD 仪器。

3 超深井 MWD 仪器应用实例

中石化中原石油勘探局钻井工程技术研究院在川东北多个工区完成了多口超深水平井和定向井的随钻测量施工,开展了相应的工艺措施改善与优化攻关,积累了不同仪器在超深井中的工作特性经验,进一步完善了 MWD 随钻测量仪器的适应性评价体系。

3.1 普光区块

P204-2H 是部署在四川盆地川东断褶带黄金口构造带普光构造东南翼的一口开发井,设计井深 7 001.09 m(斜深)/5 942.00 m(垂深),完钻井深 7 010.00 m(斜深)/5 942.18 m(垂深),井底水平位移 1 628.68 m。采用 HALLIBURTON 650 MWD 仪器进行随钻服务,连续正常工作 1 400 h。

3.2 元坝区块

3.2.1 元坝 3 井

2008 年 4 月,采用 GEOLINK ORIENTEER2 HTHP MWD 负脉冲仪器为元坝 3 井进行随钻服务。随钻开始井深 5 700 m,循环温度 120 ℃,排量 14 L/s,钻井液密度 1.52 g/cm³、含砂量为 0.3%。同年 4 月 16 日 23:00 仪器入井工作,其间仪器工作完全正常,信号幅度在 40~50 psi(0.276~0.345 MPa),仪器有效工作时间 123 h,随钻结束井深 5 900 m。4 月 26 日仪器起出,发现 APC 外筒、电池 A 外筒、4 个扶正器严重冲蚀,无法继续使用。

随钻测量工作中,仪器脉冲器部分安装在专用的悬挂短节里,下部置于∅88.9 mm 加重钻杆中。这种安装方式,由于仪器与钻杆内壁环空比较小,增加了底部钻具压降,满足了信号强度要求,同时也造成仪器过度冲蚀。

3.2.2 元坝 101 井

元坝 101 井工程设计是一口直井,设计井深 7 224 m,在钻至 5 600 m 时用多点仪器测斜,显示井斜较大,为地质中靶需要,必须进行纠斜。纠斜过程中采用 GEOLINK ORIENTEER2 HTHP MWD 负脉冲仪器。

针对元坝 3 井中仪器过度充蚀的问题,设计了外径 125 mm、内径 68 mm 和外径 172 mm、内径 80 mm 的特殊无磁钻具加以改善。

由于前期钻具底部压降较低且钻井液黏度较大,随钻测量仪器难以正常工作。为此,提出了将底部钻具压降提升至 680 psi(4.69 MPa)、钻井液漏斗黏度降低至 70 s 左右的技术措施,保证了仪器的正常工作。但是,随着井深的进一步增加,该型仪器接收的信号幅值逐步衰减,当钻至 6 100 m 后,出现了信号弱、解码困难的情况(表 1)。

3.2.3 元坝 2—侧平 1 井

元坝 2—侧平 1 井是中国石化勘探南方公司的一口探井,设计井深 6 940 m,侧钻点在老井 5 450 m 深处。

第一趟钻使用 5 级螺杆加 PDC 钻头,底部钻具压降为 650 psi 左右(4.48 MPa),仪器工作正常,但由于 PDC 钻头工具面不稳而起钻。第二趟钻用 4 级螺杆加牙轮钻头,底部钻具压降约 550 psi(3.79 MPa),仪器信号弱,不能正常解码。经与井队现场技术人员结合,现实条件不能满足增大底部钻具压降的要求。

在施工过程中,先后使用了 QDT MWD 仪器、GEOLINK ORIENTEER2 HTHP MWD 负脉冲仪器和 HALLIBURTON 350 MWD 正脉冲仪器。其中,QDT MWD 仪器井口测试不成功;在 GEOLINK MWD 负脉冲仪器不能正常工作后采用 HALLIBURTON 350 MWD,下钻到底工作正常,但不能长时间持续工作。为此,后期采用了标称耐温 177 ℃的斯伦贝谢 SlimPulse 连续脉冲式 MWD,才最终完成了该井的侧钻施工,如表 2 所示。

表 1 GEOLINK ORIENTEER2 HTHP MWD 仪器在元坝 101 井的工作状态表

仪器型号	井深/m	底部钻具压降/psi	钻井液漏斗黏度/s	仪器工作状态
GEOLINK ORIENTEER2 HTHP MWD 负脉冲	5 643	500	90	检测不到信号
	5 643	680	90	有弱小信号但不能解码
	5 664	680	70	信号较弱能够解码
	5 800	680	70	信号较弱能够手工解码
	6 150	680	70	信号弱、解码困难

表 2 MWD 仪器在元坝 2—侧平 1 井的工作状态表

仪器型号	井深/m	底部钻具压降/psi	钻井液漏斗黏度/s	井底实测温度/℃	仪器工作状态
GEOLINK MWD 负脉冲	5 450	650	74	—	解码正常
	5 538	550	74	—	信号弱、不能解码
HALLIBURTON MWD 正脉冲	5 547	550	70	131	解码正常、但不能持续工作
	5 556	550	70	131	
斯伦贝谢 SlimPulse MWD 连续脉冲	6 940	—	—	—	正常工作

3.3 相关认识

通过川东北地区的实践,普通的 HALLIBURTON MWD 仪器的工作环境温度不宜超过 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$; GEOLINK ORIENTEER2 HTHP 仪器可以适应更高的温度和压力,但在随钻测量过程中必须要求有足够的底部钻具压降,为保障其在井深超过 $6\ 000\text{ m}$ 的井中正常工作底部钻具压降应在 800 psi 以上且钻井液漏斗黏度不宜大于 70 s ;若工艺条件不能满足 GEOLINK 高温仪器的压降和黏度要求,而垂深超过 $6\ 000\text{ m}$,若环境温度高于 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$,则需要引入抗温性能更高的 MWD 仪器。

4 结论

1)超深井随钻测量的难点主要表现为仪器抗温、耐压能力不足,以及泥浆脉冲信号在黏滞性钻井液中长距离传输的严重衰减。

2)川东北工区的实践表明:普通的 HALLIBURTON MWD 仪器的工作环境温度不宜超过 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$; GEOLINK ORIENTEER2 HTHP 仪器可适应更高的温度和压力,但必须要求有足够的底部钻具压降,当其应用于井深超过 $6\ 000\text{ m}$ 的井时,底部钻具压降应在 800 psi 以上且钻井液漏斗黏度不宜大于 70 s 。

3)总结了如下的仪器使用准则:垂深在 $5\ 000\text{ m}$ 以内的井,有很多 MWD 仪器可供选择;垂深介于 $5\ 000\sim 6\ 000\text{ m}$ 的井,如果井底温度不超过 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、井底循环动压不超过 $17\ 000\text{ psi}$,HALLIBURTON 公司生产的 MWD 仪器以其工作的稳定性高得到比较普

遍的认可,若温度或压力超过这个指标,则可用 BAKER HUGHES 公司生产的 MWD 仪器或 GE 公司生产的 GEOLINK MWD 仪器;垂深大于 $6\ 000\text{ m}$ 时,推荐使用 BAKER HUGHES 公司生产的 MWD 仪器或 GE 公司生产的 GEOLINK MWD 仪器,若温度进一步升高或改良脉冲信号的措施无法实施时,则要引入抗温性能更高的 MWD 仪器。

参 考 文 献

- [1] 孔凡群,王寿平,曾大乾.普光高含硫气田开发关键技术[J].天然气工业,2011,31(3):1-4.
- [2] 侯树刚,刘东峰,李铁成,等.普光气田高含硫气井安全快速优质钻完井配套技术[J].天然气工业,2011,31(3):18-21.
- [3] 张克勤,侯树刚.普光气田气体钻井集成配套技术新进展[J].天然气工业,2010,30(5):70-80.
- [4] 刘汝山,朱德武.中国石化深井钻井主要技术难点及对策[J].石油钻探技术,2005,33(5):6-10.
- [5] 刘伟,任凌云,刘洪亮.钻井液脉冲信号传输影响因素分析[J].石油钻探技术,2010,38(1):101-103.
- [6] 石在虹,刘修善.井筒中钻井信息的传输动态分析[J].天然气工业,2002,22(5):68-71.
- [7] 马哲,杨锦舟,赵金海.无线随钻测量技术的应用现状与发展趋势[J].石油钻探技术,2007,35(6):112-115.
- [8] 张春华,刘广华.随钻测量系统技术发展现状及建议[J].钻采工艺,2010,33(1):31-35.

(修改回稿日期 2011-04-02 栏目编辑 居维清
特约编辑 杨 斌)