

电缆坐封分层封隔器位移问题研究与分析

宋海超 郑建东

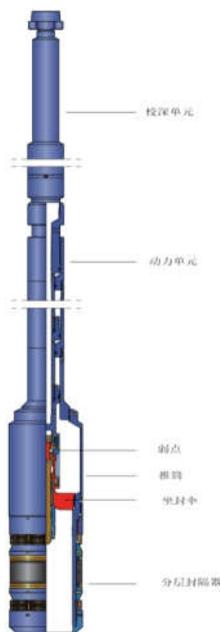
中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300400

摘要:渤海油田对于无需防砂但需分层开采的生产井,通常下入分层封隔器实现分层,而电缆下入是最简洁、最高效的一种方式,但也存在除最上部分层封隔器外其余封隔器无法验封的缺点。完井期间下入的分层封隔器在修井期间发现封隔器发生位移,影响了分层开采的效果。本文针对封隔器位移情况,进行了研究与分析,以便于得出改进,实现工具的提质增效。

关键词: 分层封隔器; 电缆; 火药; 弱点

2020年至2021年,在渤海油田修井作业过程中发现分层封隔器发生位移井数3口,数量达到10余个,完井作业时间为2016年-2018年,分层封隔器均有电缆下入。

分层封隔器通过坐封伞与Baker 20-E4A坐封工具连接,电缆下入至坐封深度,以电缆传输信号、以火药燃烧产生的气体为动力,安装在点火头内的火药及地压室内的组装火药经电点火后会迅速燃烧,短时内产生强大气体,增压室中的气体推动浮动活寒下移、将预置在一级缸中的液压油通过中间接头的小孔挤压进入二级缸中,二级缸中的活塞通过十字键、连接体及挤压套筒、将动力传输到封隔器,推动封隔器卡瓦与胶筒胀开。当坐封力达到额定值时,坐封伞内的弱点被拉断,实现坐封工具的脱手。BAKER E4A型桥塞坐封工具使用贝克公司或其他同类厂家生产的20型慢燃火药为动力源,整个坐封时间约为30~40秒。



由于分层封隔器在井下发生了位置变化,因此对回收的封隔器进行了拆解与切割,确定坐封行程是否达到要求。半切割封隔器,封隔器的坐封行程如表1。

表1 海返封隔器坐封行程

序号	封隔器尺寸 (in)	海返坐封行程 (mm)	理论坐封行程 (mm)
1	9.625	51-55	> 75
2	7.000	61-64	> 75

通过对比,发现电缆下入的分层封隔器坐封行程不满足75mm,表明封隔器未能完全坐封,因此得出,电缆下入时,坐封力未能达到设计要求。

1 主要原因分析

分层封隔器坐封所需推力为不小于20T,由于分层封隔器由钻杆下入时,液压坐封工具可提供25T的坐封推力,未出现过坐封后发生位移情况,因此,排除封隔器自身质量问题原因。研究方向主要集中于两方面:一是电缆坐封工具内弱点的质量不合格,未达到封隔器的坐封力就被拉断。二是火药选型不对,燃烧快,影响封隔器坐封^[1]。

1.1 弱点的研究与分析

电缆坐封工具内的弱点选用国产弱点,理论拉断力为22.6~25T。采用万能试验机测试其拉断力,与贝克休斯公司的弱点进行对比,确定所用弱点是否满足设计要求。测试结果如表2。

通过实验室的弱点拉断力测试,可以看出,国产弱点的拉断力均满足设计要求,能够达到分层封隔器的坐封力要求。因此,从陆地试验分析,排除了弱点质量问题的原因。

1.2 火药的研究与分析

目前常用的电缆下入分层封隔器所用的火药为ZHY2-3型慢燃火药,为研究火药对封隔器坐封的影响,

选择进行陆地封隔器坐封测试。除选用慢燃火药外，同时选用ZHY2-3K型快燃火药做对比。弱点采用3种类型：国产弱点1（拉断力22.6-25T）、贝克休斯弱点（拉断力

22.6-26.5T）、国产弱点2（拉断力25-27.2T），对比常规弱点与更大拉断力弱点的坐封效果。测试目的如表3。

表2 国产弱点拉断力测试

弱点种类	测试拔断力值	理论要求值	是否合格
贝克休斯弱点	22.8T	22.6-25T (50000~55000lbf)	合格
国产弱点1	23.8T	22.6-25T (50000~55000lbf)	合格
国产弱点2	23.5T	22.6-25T (50000~55000lbf)	合格
国产弱点3	24.4T	22.6-25T (50000~55000lbf)	合格

表3 火药与弱点配合测试

序号	弱点	火药	目的
1	国产弱点1	ZHY2-3慢燃	地面测试用弱点火药坐封顶封效果
2	国产弱点1	ZHY2-3K快燃	对比慢燃火药坐封效果
3	贝克弱点	ZHY2-3慢燃	确认国产弱点的性能
4	国产弱点2	ZHY2-3慢燃	对比高拔断值弱点与常规拔断值弱点坐封顶封效果

经过陆地电缆坐封分层封隔器测试，结果如表4。

表4 电缆坐封测试结果

组别	组合明细	坐封行程	坐封时间	火药压力峰值	拔断火药压力	弱点拔断力值
1	国产22T+慢燃	85mm	38.6 S	82 Mpa	52.6 Mpa	24.3T
2	国产22T+快燃	81mm	4.2 S	100.2 Mpa	55.5 Mpa	25.7T
3	贝克22T+慢燃	84mm	43.9 S	78.9 Mpa	52.7 Mpa	24.4T
4	国产26T+慢燃	83mm	40.0 S	87.5 Mpa	60.7 Mpa	28.1T

封隔器坐封后，均进行了50T拉拔测试，测试合格。表4表明，国产弱点与常用火药坐封后的封隔器能够满足要求^[2]。

海上发生位移的封隔器坐封采用的弱点与火药为组合1（国产弱点1+ZHY2-3慢燃火药）。测试曲线如图1。

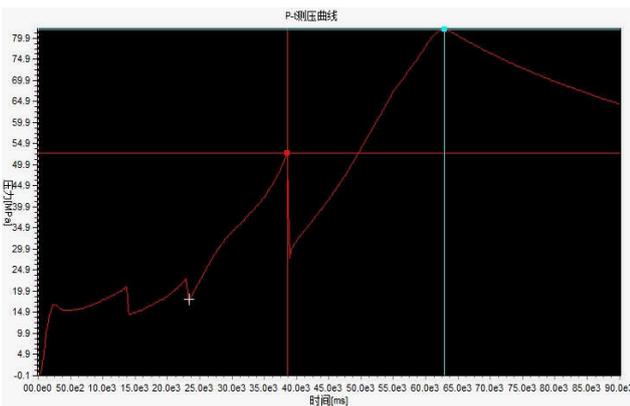


图1 国产弱点1+慢燃火药测试曲线

1.3 小结

通过对弱点及火药的测试研究与分析，完井作业期间所采用的弱点及火药，均能够满足分层封隔器坐封需要。

2 客观原因分析

由于对弱点及火药试验结果无法判断海上分层封隔器坐封后出现位移现象的根本原因，排除弱点及封隔器

自身因素后，需要对其它客观因素进行分析。

2.1 井下温度

经查阅相关资料，温度对弱点金属材料存在客观影响，普遍影响曲线如图2。

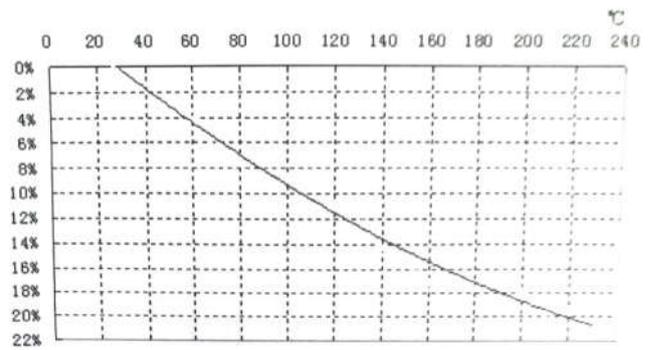


Chart: Temperature-shear pin material strength

图2 温度对金属材料的影响

图2说明在100°C时，一般金属弱点拔断力会减小近10%。经统计，电缆坐封分层封隔器失效井温平均在120°C左右，此温度下金属抗拉强度大约衰减12%。如果用国产弱点1且受地层温度影响，拔断力会由22T降低至19T，小于分层封隔器完全坐封需要的坐封力20T，导致封隔器坐封不完全^[3]。

现有弱点材质为18Cr-8Ni，经查阅《ASME锅炉及压

力容器规范 国际性规范 II 材料D篇》，其标准内显示该材质抗拉强度受温度影响较一般铁基金属大。

该材质在150℃时抗拉强度已经降低13%【483-421/483】，因此该材料弱点的抗拉强度受温度变化影响较大，且0~200℃间内的温度变化对18Cr-8Ni抗拉强度的影响最大。

经统计，分层封隔器位移作业井温度平均在120℃左右，该材料弱点的拔断力会由22T降低至19T，达不到封隔器坐封的理论推力，因此井下温度的影响是导致电缆坐封失败的一种原因。

2.2 液柱阻力

通过压力计算的弱点拔断力比实际值大1~2T，Baker20在火药腔膨胀时，除去对坐封杆的做功外，还需要克服坐封液的流动阻力（液体穿过小孔）。

电缆坐封时，火药产生的推力首先需要压缩胶筒，当胶筒贴合井壁且卡瓦咬住套管壁后，会将封隔器与套管的环空进行分隔，分隔后胶筒下方液柱会在继续坐封时被推动下移，该液柱除了需要由静止变为运动，且被挤压进地层，因此会对胶筒产生反向作用力，从而增大了弱点所受的拉力，导致最终弱点拔断力无法全部作用于分层封隔器自锁环，从而会影响封隔器坐封。

3 改进措施

由于ZHY2-3型慢燃火药在渤海应用广泛，均能满足各种类型分层封隔器坐封力要求。因此，需改进弱点的拉断力，以消除温度及静液柱等因素的影响。

3.1 弱点选材

经查阅相关资料，应选取受温度影响小的材料，因此，采用13Cr材料制作的弱点更为稳定，13Cr材质在0~300℃内的抗拉强度受温度影响较小。

3.2 拉断力设计

为确保封隔器成功坐封，应适当提高弱点拉断力，由于Baker20属于非自平衡坐封工具，液柱压力对其坐封

杆会产生反作用力，因此Baker20对弱点的最大拔断力会受井内液柱影响。

按照井深3000m垂深计算，假设液柱密度为1g/cm³，坐封杆活塞直径d=76mm，活塞面积：S=0.25*3.14*d²=4534mm²。

火药峰值压力P₁=100MPa，静液柱压力P₂=h/100=30MPa，则实际净输出推力：

$$F_{\text{净}} = (P_1 - P_2) * S = 317\text{KN} = 32.3\text{T}$$

考虑15%的安全系数，弱点拉断力=32.3*0.85=27.4T。因此弱点拉断力提高至25-27.2T（55000~60000lbf），在3000m以内垂深的井作业时，能够满足封隔器坐封力需要，同时能够在火药然后产生的推力内拉断，不会发生弱点未断无法脱手的情况。

弱点在作业时的实际拉断力为：弱点入井拔断力=常温拉断值（25-27.2T）-井温影响（参考影响曲线）。

实际坐封力为：实际坐封力=常温拉断值（25-27.2T）-井温影响（参考影响曲线）-液柱阻力。

因此弱点拉断力设计在25~27.2T为合理的。

4 结论与建议

经过对电缆下入的分层封隔器位移问题研究，得出以下结论与建议：

（1）完井期间，采用的封隔器、火药、弱点等各类工具满足各自的设计要求；

（2）工具设计未能充分考虑作业条件，尤其是井下温度对金属材料的影响，以至于导致了封隔器的作业失败；

（3）通过本文的研究，工具设计应该考虑更苛刻的条件，已提高工具应用质量与效果。

参考文献

[1]《海上油气田完井手册》编委组 海上油气田完井手册[M].北京：石油工业出版社,1998.3

[2] Q/HS14010—2017 海上钻完井工程质量控制标准[S]

[3] Q/HS14010—2017 海上钻完井工程质量控制标准[S]