

基于钻头运动诱发套管头振动信号检测的 井眼防碰监测方法

何保生¹, 刘刚², 王平双¹, 文敏¹

(1. 中海油研究总院开发研究院, 北京 100027; 2. 中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东青岛 266555)

[摘要] 针对海上加密调整井的井眼防碰问题,设计了一种井筒防碰地面监测预警系统,并进行了现场应用。系统利用加速度传感器监测通过套管传输到套管头上的钻头振动信号,利用数据采集、信号滤波放大和专门编制的监测软件记录分析传感器采集的振动信号,通过对信号的时域、频域分析,确定信号特征与井间相对距离的关系,识别钻头对风险井套管的趋近或碰撞。应用结果表明,该系统能有效感知通过地层、套管传输到套管头的钻头振动信号,并能识别出钻头对风险邻井的趋近,验证了系统在设计理论和方法上的可行性,为加密调整井的井眼防碰、保证钻井安全提供了一种有效的手段。

[关键词] 调整井;防碰;风险井;振动信号;时域分析;频域分析

[中图分类号] TE242;TE52 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2011)05-0074-05

1 前言

目前,海洋石油资源的勘探开发已进入了一个新阶段,许多需要在老井网布置下加密开采的油田,面临着越来越大的井眼碰撞风险。钻井防碰和井筒安全问题已成为今后一段时间国内外定向井、调整井安全作业的关键问题。特别是海上油田需要充分依托现有海上生产设施、海管和终端等资源时,在原控区域内打加密调整井,部分调整井将面临井眼误差椭圆相交的作业条件,防碰问题尤为突出。

实际施工中,导致井眼相碰的原因很多,如早期钻井设计没有考虑到加密调整的需求,早期的测量精度低导致井眼扫描精度低,调整井设计预留空间较小,井下随钻测量信息反映滞后导致决策错误,轨迹控制手段产生偏差等等,这些都可能导致邻井套管面临作业钻头的碰撞的危险。而一旦未及时发现井眼碰撞,将会在很短的时间产生十分严重的后果,轻者造成套管柱的变形,重者钻穿套管,引发严重的井眼事故。若被碰撞井为生产井,则可能导致环境

污染、油气井生产受影响等严重后果,造成十分巨大的经济损失。为此,本文介绍了一种海洋丛式井组井眼防碰地面监测方法及装备,该方法可以实现在钻井过程中实时监测在钻井钻头对风险邻井套管的趋近趋势和产生碰撞的可能,在钻头碰到邻井套管之前进行预警或报警,对避免调整井钻井施工可能对邻井套管构成的伤害,保障钻井作业安全和调整井的顺利施工意义重大。

2 防碰监测系统设计思路

目前,防碰检测技术主要有四种:a. 电测与井眼轨迹扫描;b. 随钻测量技术与井眼轨迹扫描;c. 井下电磁测量;d. 井口监听^[1]。前三种为预测技术,由于受实时性的影响,有时难以满足施工需求。第四种为监测技术,但受人员的经验及环境影响大,工作强度大、责任重。为改善解决防碰监测的难题,结合第四种方法的基本原理和思路,提出了防碰监测系统的技术思路。

以三口丛式井为例,说明井眼防碰系统的设计

[收稿日期] 2010-03-05

[基金项目] 国家科技重大专项子课题研究项目(2008ZX05024-004-006,2008ZX05057-002-11)

[作者简介] 何保生(1972—),男,河南潢川县人,高级工程师,主要从事油气井钻完井、采油方面的科研工作;E-mail:hebsh@cnooc.com.cn

原理。钻头与2号井筒套管发生碰撞(如图1所示)。由于1号井筒中工作的钻头距2号井筒的距离小于距3号井筒的距离,振动通过地层波传播到2号井筒的时间小于传播到3号井筒的时间,即 T_{12} 小于 T_{13} 。由于钻头与2号井筒发生碰撞,因此碰撞后的震动强度远远大于通过地层传播到3号井筒套管上的震动强度,振动信号经过处理后特征量相关强度 H_{12} 亦远远大于 H_{13} ,因此,从波形分析上能够判断出是否已经与井筒发生了碰撞,如图2所示。

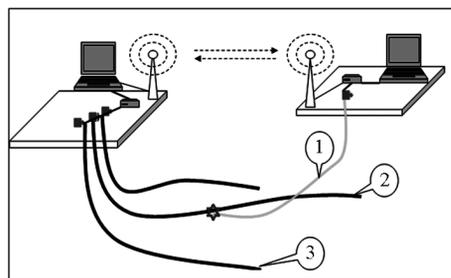


图1 碰撞井间距离示意图

Fig.1 Distance between current well and high collision risk wells

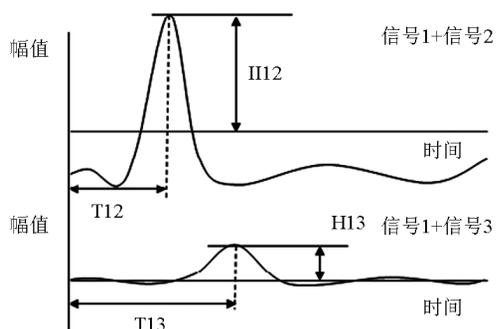


图2 碰撞波形特征示意图

Fig.2 Wave character by vibration of wellbore collision

基于以上设想,笔者设计了监测系统和分析方法,该系统:

1) 应能够测量到各风险井套管头振动信号的基本特征,特别是振动信号强度的变化;应能够根据信号强度的强弱,判断钻头距风险井套管间的距离;

2) 能够连续采集并识别钻头在特殊条件下(钻进、蹩跳)产生的特征点信号,并能够识别出该信号到达各套管的时间;

3) 系统的主要构成为:数据采集器、加速度传感器、计算机、分析软件等(见图3)。

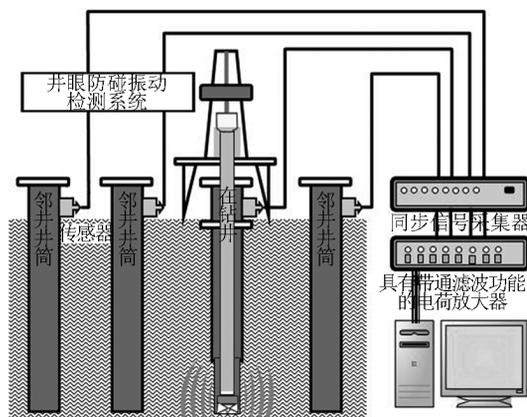


图3 井眼防碰撞监测系统基本构成示意图

Fig.3 Wellbore anti-collision monitor system

3 防碰监测信号分析处理程序设计原理

钻头齿冲击、破碎地层过程实际上是确定性振动系统受到随机力的激励作用而产生的振动,可视作为随机振动,因此采用时域分析、频域分析等进行信号处理^[2]。

3.1 时域分析

时域特征值分析是对振动大小随时间变化的波形的分析。时域分析主要包括均值、均方值、方差分析等。

均值是随机振动信号变化的中心趋势。对于防碰监测信号其表达式可写为:

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x(k) \quad (1)$$

式(1)中, N 为采集到的总的的数据个数; $x(k)$ 为监测信号样本函数。

均方值 ψ_x^2 是信号振动的平均能量(功率)的一种表达。套管头振动信号均方值可表示为:

$$\psi_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x^2(k) \quad (2)$$

方差描述了动态信号波动分量的大小。套管头振动信号方差可表示为:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [x(k) - \mu_x]^2 \quad (3)$$

3.2 频域分析

频域分析是建立在傅里叶变换基础上的时频变换处理,所得到的结果是以频率为变量的函数。频域处理主要的方法为傅里叶变换,傅里叶变换的结果称为傅氏谱函数。傅氏谱的模称为幅值谱,相角称为相位谱。频域分析主要包括幅值谱分析、相位

谱分析、功率谱分析等。

功率谱表示了单位频带内信号功率随频率的变化情况,反映了信号功率在单位频域的分布情况。自相关函数能完整地反映随机信号的特定统计平均量值,而一个随机信号的功率谱密度函数正是自相关函数的傅里叶变换,于是,可用功率谱密度函数来表示它的统计平均谱特性。

单个随机振动信号的功率谱密度函数称为自功率谱密度函数,是该随机振动信号的自相关函数的傅里叶变换,其表达式为:

$$S_{xx}(k) = \frac{1}{N} \sum_{r=0}^{N-1} R_{xx}(r) e^{-\frac{j2\pi kr}{N}} \quad (4)$$

式(4)中: $S_{xx}(k)$ 为自功率谱密度函数 $R_{xx}(r)$ 为对应的自相关函数。

实现随机振动信号的功率谱密度函数估计的一种简单方法是先对振动信号进行傅里叶变换,然后取变换结果幅值的平方,并除以该信号数据的长度作为功率谱密度函数的一个估计,表达式为:

$$S_{xx}(k) = \frac{1}{MN_{FFT}} \sum_{i=1}^M X_i(k) X_i^*(k) \quad (5)$$

式(5)中: $X_i(k)$ 为一随机振动信号的第 i 个数据段的傅里叶变换; $X_i^*(k)$ 为 $X_i(k)$ 的共轭复数; M 为平均次数。

由此可知, $S_{xx}(f)$ 曲线和频率轴所包围的面积就是信号的平均功率。而 $S_{xx}(f)$ 就表示了信号的功率按频率分布的规律^[3]。

根据上述理论,编写套管头振动监测信号处理程序,对套管头振动信号进行时域、频域等分析处理,就可以对随机振动水平做出评价,防碰信号采集处理软件流程图如图4所示。

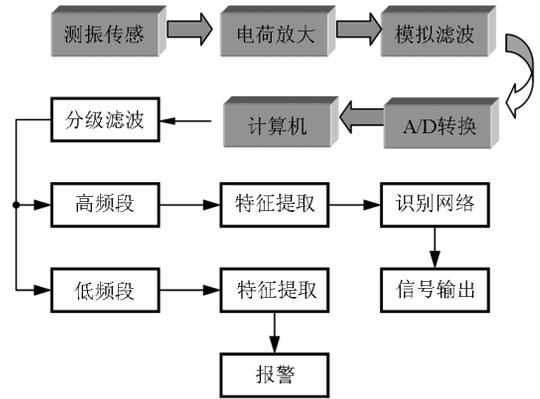


图4 防碰振动信号处理软件流程
Fig. 4 Process of anti-collision vibration signal treatment software

4 现场试验数据分析

图5为L1井趋近L4井的时域信号特征,从图5可以看出,风险邻井的时域信号与在钻井的时域信号有明确的对应关系。由于在钻井钻头运动引起的振动信号,可以通过地层和套管传递到风险邻井,并引起风险邻井监测到的振动信号幅值改变。

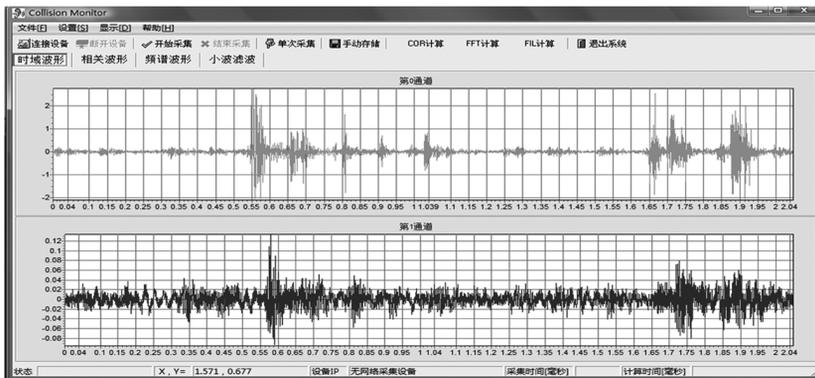


图5 L1井趋近L4井的时域信号

Fig. 5 Time domain signal of well L1 approach to well L4

表1和图6给出了L1趋近L4时的相对振幅随中心距变化。可以看出,随着在钻井钻头对风险邻井井筒的趋近,时域信号的相对幅值有明确的增大趋势。多口井监测数据的分析结果表明,随井间距越小,风险邻井时域信号的幅值增大。

表1 L1井趋近L4井的时域信号幅值随中心距变化

Table 1 Time domain amplitude changing by well center distance between L1 and L4

中心距/m	相对振幅
2.7	0.821 453 3
4.83	0.722 186 2

续表

中心距/m	相对振幅
8.93	0.685 899 4
13.34	0.571 462 5
22.4	0.457 867 4
30	0.436 680 2
43.6	0.427 134 2

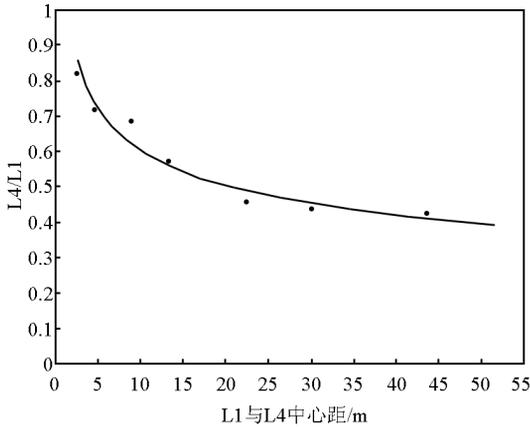


图6 L1趋近L4时的相对振幅随中心距变化
Fig. 6 Relative amplitude changing by well center distance between L1 and L4

表2和图7给出了L11趋近L5时,振动信号的频域相对幅值随中心距变化。可以看出,随着在钻井钻头对风险邻井井筒的趋近,频域信号的相对幅值有明确的增大趋势。多口井的监测数据分析结果表明,井间中心距越小,风险邻井的频域幅值越大。

表2 L11趋近L5井时的特征频域幅值随中心距变化

Table 2 Characteristic frequency domain amplitude changing by well center distance between L11 and L5

井号		中心距/m	幅值	
L11井深	L5井深		L11	L5
310	312.35	9.2	0.568 1	0.672 592 9
320	322.29	8.67	0.732 3	0.696 572 4
330	332.1	8.12	0.769 5	0.701 884 3
340	341.83	7.68	0.471 5	0.725 132 6
350	351.46	7.51	1.948	0.871 663 2
360	361.02	7.78	0.557 7	0.775 685 9
380	380.02	9.66	1.173	0.601 875 5
391	390.62	11.05	0.744 3	0.542 791 9
410	408.99	13.67	4.151	0.417 730 7

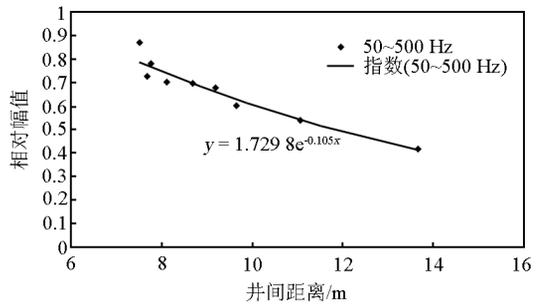


图7 L5特征频域相对幅值随井间距变化
Fig. 7 Characteristic frequency domain amplitude of well L5 changing by well center distance

5 结语

结合加密调整井对井眼防碰预测和监测的需要,根据钻头运动引发的振动可以通过地层和套管传输到套管头的实际施工经验,提出了通过对加速度传感器感受到的风险邻井套管头振动信号的采集、分析,评价在钻井钻头对风险邻井趋近的方法,研发完成了定向井防碰地面监测系统。实际应用结果表明:

- 1) 当钻头趋近风险井套管时,该井套管头振动信号的时域幅值会相应增大;振动信号的时域幅值与中心距有明确的对应关系;
- 2) 当钻头趋近风险井套管时,该井套管头振动信号的频域幅值会相应增大;振动信号的频域幅值与中心距有明确的对应关系;
- 3) 现场多口井的应用结果验证了井眼防碰地面监测系统在理路和方法上的可行性,为加密调整井的钻井防碰和危险井段的安全钻进提供了一种有效的监测手段。

参考文献

- [1] 唐志军,刘天书. 定向井预测井眼防碰扫描法[J]. 石油钻探技术,1992,20(4):27-30.
- [2] 殷祥超. 振动理论与测试技术[M]. 北京:中国矿业大学出版社,2007:4-16.
- [3] 吴 描. 现代工程信号处理及应用[M]. 北京:中国矿业大学出版社,1997:88-121.

Anti-collision monitoring based on detecting casing head vibration induced by drill movements

He Baosheng¹, Liu Gang², Wang Pingshuang¹, Wen Min¹

(1. CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China;

2. School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (Huadong),
Qingdao, Shandong 266555, China)

[**Abstract**] Now encryption adjustment wells are getting widely used in offshore, and the risk of well collision increases greatly. Well anti-collision is becoming more and more important. An anti-collision monitoring system based on detecting casing head vibration induced by drilling movements has been build and rig-site utilized. The acceleration sensors were fixed on the casing head to fell the vibration, the time domain analysis and frequency domain analysis were used in signal processing to recognize the approach motive of the drilling bit to the risk case of production well. The result of rig-site test shows that the newly designed monitoring system can recognize the vibration caused by bit work and detecting the drilling bit approaching the case. It also indicates that the anti-collision monitoring system for detecting casing head vibration is practicable.

[**Key words**] encryption adjustment well; anti-collision; risk well; vibration signal; time domain analysis; frequency domain analysis