

# 塔里木油田钻机平台振动测试与振动激励源分析\*

胡 灿<sup>1</sup>, 王旭峰<sup>1</sup>, 孟祥营<sup>1</sup>, 蒋建云<sup>1</sup>, 张 亮<sup>2</sup>

(1. 塔里木大学 机械电气化工程学院, 新疆 阿拉尔 843300;

2. 中国石油吐哈钻井公司, 新疆 鄯善 838200)

**摘 要:** 对钻机平台进行振动测试与激励源的分析是平台结构振动的基础。目前,对塔里木油田超深井钻机平台的振动源的相关研究较少,对沙漠油田的风沙振动影响的情况不明。以塔里木油田热瓦普区热普5号井钻机平台为测试对象,对平台 $X,Y,Z$ 方向进行了振动测试与振动信号的采集,并进行了振动信号的频谱分析。结果表明:在超深井钻井时,空气压缩机等钻井动力系统对钻机平台的振动影响最大,振动的位移主要为 $Z$ 方向的垂直振动,振动频率为17.5,82.3 Hz时振动的幅值达到最大,分别达到1.203,1.16 mm。同时,沙尘暴风力对钻机平台的振动也有较大的影响,当风振频率在11.5 Hz时, $Z$ 方向振动幅值达到0.463 mm。

**关键词:** 钻机平台; 振动测试; 频谱分析; 塔里木油田; 激励源

中图分类号: TH865; TE923

文献标识码: A

文章编号: 1000-9787(2014)08-0056-03

## Vibration test and vibration excitation source analysis on drilling platform in Tarim oilfield\*

HU Can<sup>1</sup>, WANG Xu-feng<sup>1</sup>, MENG Xiang-ying<sup>1</sup>, JIANG Jian-yun<sup>1</sup>, ZHANG Liang<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Tarim University, Alar 843300, China;

2. Tu-ha drilling Company of Chinese Oil Companies, Shanshan 838200, China)

**Abstract:** Test of vibration and analysis on excitation source in drilling platform are the foundation of platform structure vibration. However, the vibration source in the Tarim oilfield ultra deep well drilling platform of related research is less, the influence of wind vibration of desert oilfield is unknown. Number five well rig in Heatgeneral area of Tarim oilfield is used as test object, vibration testing and vibration signal are collected in  $X,Y,Z$  directions of platform, frequency analysis on vibration signal is realized. The results show that air compressor and other drilling power system has a powerful vibration influence on the drilling platform, displacement is mainly vertical vibration in  $Z$  direction, and when the vibration frequency is 17.5 Hz and 82.3 Hz, the amplitude will reach the maximum value to 1.203 mm and 1.16 mm. At the same time, storm wind have an great effect on the vibration of drilling platform, when the wind vibration frequency is 11.5 Hz, the vibration amplitude in  $Z$  direction reach to 0.463 mm.

**Key words:** drilling platform; vibration test; frequency analysis; Tarim oilfield; excitation source

### 0 引 言

塔里木油田是中国第二大内陆油田,位于新疆塔里木盆地,处于世界上最大的流动沙漠四周,分布于塔河区域与盆地边缘地区,地理位置独特,石油开采环境复杂多样。受地质环境的影响,油田的钻井深度均在4000 m以上的超深井,平均钻井深度接近6000 m,阿克苏地区沙雅县境内的热普5号油井钻井深度达到了8068 m。在超深井钻井过程中,会对整个油井产生较大的冲击振动,同时也给钻机平台

带来较大的振动响应,影响平台的正常作业。在陆地油井钻井设备中,钻机平台是钻井操作室、现场电气仪表设置的平台,钻机平台的稳定运行,关系着钻井的安全与完井工作的保证。目前,国内外对钻机平台振动激励源研究主要集中在海洋平台,对陆地油井的平台研究较少,特别是对超深井钻井时振动激励源不明<sup>[1,2]</sup>。同时,由于塔里木盆地区域受其独特的自然环境影响,钻机平台受沙尘暴的影响较为严重,特别是在每年的3~6月期间,强烈的沙尘暴将给

收稿日期:2014-01-06

\* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(1162017);塔里木大学校长基金资助项目(TDZKSS1009)

钻井系统带来强烈的振动损害,严重影响平台的作业与钻井工人的安全<sup>[3]</sup>。因此,对塔里木油田钻机平台的振动测试研究有助于更好地了解塔里木地区的振动情况,也有助于更好地分析和了解塔里木地区的振动激励源,对于钻井工程中的减振处理均具有十分重要的实际帮助。

针对塔里木油田钻机平台振动现状,对塔里木油田热瓦普区热普 5 号井 ZJ90/6750DB 型钻机平台现场布置测量点,采集振动传感器的振动位移数据,通过振动数据的采样与数据处理,分析塔里木地区超深井钻机平台的振动激励源对平台的影响情况<sup>[4-6]</sup>,为平台减振的研究提供依据和参考。

1 钻机平台振动测试

1.1 振动测试设备

钻机平台的振动测试设备主要包括两部份:一部份是现场各测量点的传感器与信号变送装置;另一部份是对现场传感器数据的采集、A/D 转换处理、人机交换画面 HMI 上的显示及频谱分析软件,具体结构框图如图 1 所示。

1)现场振动测量传感器

现场振动测量传感器采用磁电式速度传感器,优化了压电式传感器在低频振动信号采集时测量精度不够的问题,在振动测量中具有更好的精度和更高的可靠性。传感器选用江阴众和公司生产的 SZ-6 型磁电式速度传感器,测振量程为 0~500 mm,该传感器为绝对型传感器,适用于钻机平台较大的质量块测量。另外,绝对型传感器不需要静止的基座作为测量基准,可以直接安装于钻机平台振动测量点上。传感器输出信号为 4~20 mA 电流信号,信号通过现场变送器输入到平台控制系统的西门子 PLC-300 系统的模拟量输入模块,PLC 系统通过 A/D 转换,对数据进行比较与处理,输出到操作室的显示仪表与 HMI 人机交换计算机界面上,可方便地进行振动试验的记录。



图 1 钻机平台振动测试系统框图

Fig 1 Block diagram of vibration test system of rig platform

2)数据采集、处理与显示

振动信号的采集通过钻井系统自带的西门子 PLC-300 系统进行处理,一部份通过 PLC 程序比较振动值后输出到平台振动报警显示;另一部份则输入到振动仪表所配置的 LabVIEW 振动软件平台。LabVIEW( laboratory virtual instrument engineering workbench )软件是一种用图标代替文

本创建应用程序的图形化编程语言。LabVIEW 软件是常用的振动测试信号处理软件,主要用于振动数据处理与频谱分析。

1.2 振动测试测点布置

钻机平台的振动测试主要考虑多方面的因素,根据钻机平台的振动激励情况布置现场传感器的检测点。具体的布置如图 2 所示,以钻机平台层面基准建立坐标轴,检测 X、Y、Z 方向的振动位移。因平台操作室和仪表室的振动主要以 Z 方向的强迫振动为主,则传感器底座垂直于平台 Z 方向安装。同时在四桩腿人字形立柱上安装传感器以测量 X、Y 方向振动。

图 3 为钻机平台测试试验与振动位移图。



图 2 钻机平台振动测点方向示意图

Fig 2 Diagram of rig platform vibration direction of measuring points

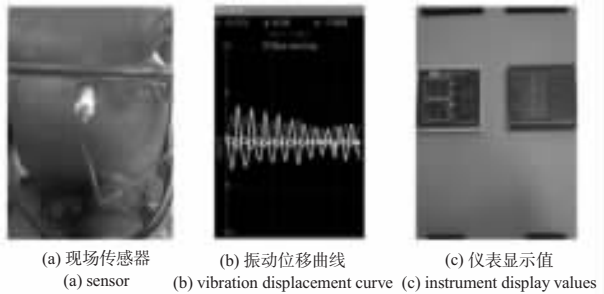


图 3 钻机平台测振试验与振动位移图

Fig 3 Rig platform vibration test and vibration displacement diagram

2 振动测试结果

实际测量时,根据油田钻井时工况和沙尘暴风力情况可分为 3 种情况测量:第一种情况为钻头在 6 000 m 深度时空气压缩机等钻井动力对平台振动影响情况;第二种情况为钻头停止出泥浆时泥浆泵等负载对平台振动影响情况;第三种情况为风力超过 17 m/s 时的沙尘暴天气对平台作业的振动影响情况。在每种情况下测量对平台的振动速度,再通过软件平台换算出振动位移和加速度,在进行数据处理后显示相关的测量值。

测量时,在钻机平台 X、Y、Z 方向各测点中取代表性的测点,得出平台在 3 种情况下的主要振动频率的振动位移

与振动速度,见表 1、表 2 及表 3 所示。

表 1 钻头 6 500 m 时平台各测点主要成份对照表  
Tab 1 Main components wntract of each test point of drilling platform in 6500m

	各测量点不同振动频率( Hz )的振动位移和振动速度							
	17.50	24.66	27.81	39.10	45.00	60.50	82.30	100.0
X 方向 ( mm )	-0.186	0.161	-0.101	0.121	0.181	-0.075	-0.110	-0.012
Y 方向 ( mm )	0.176	-0.156	0.193	-0.190	-0.165	0.025	0.233	0.011
Z 方向 ( mm )	-1.203	0.557	0.412	0.160	0.121	-0.022	1.160	0.140
振动速度 ( mm/s )	1.211	0.561	0.432	0.172	0.130	0.057	1.224	0.146

表 2 钻头停钻时平台各测点主要成份对照表  
Tab 2 Main components contract of each test point of drilling platform when drilling bit stops

	各测量点不同振动频率( Hz )的振动位移和振动速度							
	17.50	24.66	27.81	39.10	45.00	60.50	77.30	100.0
X 方向 ( mm )	-0.186	0.161	-0.101	0.121	0.281	-0.105	-0.110	-0.012
Y 方向 ( mm )	0.176	-0.156	0.193	-0.190	-0.265	0.125	0.133	0.011
Z 方向 ( mm )	0.403	0.557	0.312	0.460	0.321	0.322	0.561	0.140
振动速度 ( mm/s )	0.411	0.581	0.319	0.472	0.330	0.357	0.554	0.146

表 3 风力大于 17 m/s 时平台各测点主要成份对照表  
Tab 3 Main components contract of each test point of drilling platform when wind power is over 17 m/s

	各测量点不同振动频率( Hz )的振动位移和振动速度					
	11.50	17.66	21.81	25.10	27.10	40.50
X 方向 ( mm )	-0.286	0.061	-0.101	0.121	0.081	-0.005
Y 方向 ( mm )	0.276	-0.056	0.193	-0.190	-0.065	0.002
Z 方向 ( mm )	-0.463	0.107	0.312	0.360	0.082	0.022
振动速度 ( mm/s )	0.501	0.121	0.332	0.372	0.090	0.037

从表 1 和表 2 中可以看出:主要的振动频率成份是 17.5,24.66,39.1,60.5,82.3 Hz, 十分接近实际钻头在 6000 m 以下深度时压缩机动力的基频与倍频,实际测量值与空气压缩机动力的倍频略有差异,这是由于振动过程中振动能量的损失及其他动力装置如泥浆泵所引起的。表 3 为沙尘暴天气引起平台振动的主要振动频率,沙尘暴天气情况难以准确把握,振动信号的随机性与变化都很大。

3 振动激励源分析

在采集钻机平台 3 种工况情形下的测量数据后,通过 LabVIEW 软件平台对振动信号进行了处理与频谱分析<sup>[7,8]</sup>,

得到如图 4 所示的 3 种工况下的振动特点。图 4( a)所示为钻井深入 6 000 m 以下时 Z 方向某一测点2 s 时间内的垂直振动幅值图。图 4( b)所示为钻头在 6 500 m 时平台的振动频谱图,图中 17.5,82.3 Hz 时振动的幅值最大,尤其是低频段接近于空气压缩机动力基频时的振动幅值最为强烈。图 4( c)所示为钻头停钻时泥浆泵对平台振动频谱图,图中振动幅度在各频率段较为平均,振动的幅值较低,表明在出泥浆时平台振动的激励源较多,有过多的泵类负载产生了多种振动影响,减振时应充分考虑泵类负载与平台的隔离,同时,也应该避开平台的自振频率,以免引起共振现象。图 4( d)所示为风力大于 17 m/s 时的沙尘暴天气时钻机平台的振动频谱图。从图中可看到,风力振动具有较多的随机性,振动的方向也变化多样,并且在塔里木盆地区域,风力的变化具有明显的季节性。而大型沙尘暴对钻机平台振动主要集中在小于 30 Hz 的低频段,其中 12 Hz 左右的振动幅值最为明显。

从表 1、表 2、表 3、图 4 中可以看出:3 种工况情形下测点的振动主要是由钻井时的柴油机动力和泵类负载所引起的,动力类负载对振动的影响主要是 Z 方向的垂直振动。同时,沙尘暴风力对钻机平台的振动也有较大的影响,其振动的方向是多变的。

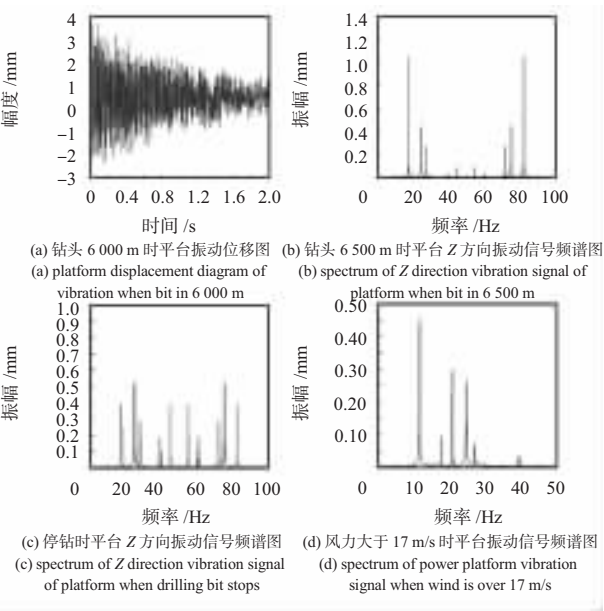


图 4 三种工况下平台的振动信号频谱图  
Fig 4 Vibration signal spectrum of platform in three kinds of condition

4 结 论

由振动的测量可知,超深井钻井时,影响钻机平台的振动激励源为钻井时的空气压缩机动力、泥浆泵等负载及外面的沙尘暴风力影响。通过振动频谱分析可知其主要激励源以及各激励源对平台的振动影响情况。

( 下转第 68 页 )

图 9 中包含两个的加速度计测试簇,分别包含了10 只、8 只被测加速度计,而实际测试应用中,可包含多个这样的测试簇,并相对分散地布置与测试环境内。无线网关(协调器节点)则通过 USB 转 RS-232 接口连接到计算机控制台端。

图 10 为本系统监测下部分石英挠性加速度计数据,图示以天(d)为单位,记录了加速度计在 27 d 内的输出数据特性。

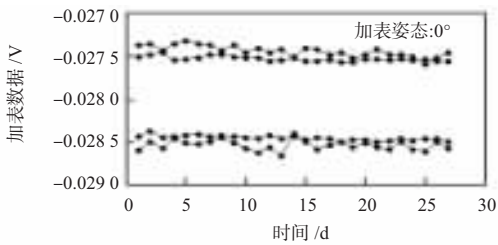


图 10 石英挠性加速度计测试数据

Fig 10 Test datas of quartz flexible accelerometer

5 结 论

本文所述的加速度计网络化自主测试系统,完成了软硬件设计与调试并获得应用,经实际应用证明:1)加速度计采集节点采样误差为 0.152~0.049 mV,实现了高精度、高分辨率采样;2)系统可在 24 h 连续不间断的工作条件下,稳定运行时间大于 100 d;3)系统可支持 40 个加速度计无线采集节点同时采集工作;4)系统可根据数据采集的需求,灵活配置节点单次采集时间、单位时间内的采集次数,并以较

准确的控制精度管理加速度节点的工作时长。

参考文献:

[1] 胡佩达,董景新,赵长德,等. 微机械加速度计自动测试系统[J]. 中国惯性技术学报,2008,16(2):212-215.  
[2] 刘 梅,李秋萍,潘成炜. 一种加速度计自动测试系统的设计与应用[J]. 航空精密制造技术,2010(5):9.  
[3] 赵 媛,尚雅层,刘 岩,等. 石英挠性加速度计性能分析平台的构建[J]. 弹箭与制导学报,2010,30(5):193-195.  
[4] 黄新波,罗 兵,刘存孝,等. 采用 Zig Bee 芯片的无线加速度传感器网络节点的实现[J]. 高压电技术,2010(8):1962-1969.  
[5] 梁湖辉,张 峰,常 冲,等. 基于 Zig Bee 的变电站监测报警系统[J]. 电力系统保护与控制,2010(12):121-124.  
[6] 张东伟. 基于 Zig Bee 技术的井下人员定位系统的设计[D]. 西安:西安科技大学,2010.  
[7] 纪丽猛. 基于 Zig Bee 技术的无线数据采集系统研究与设计[D]. 秦皇岛:燕山大学,2013.  
[8] 韩华峰,杜克明,孙忠富,等. 基于 Zig Bee 网络的温室环境远程监控系统设计与应用[J]. 农业工程学报,2009(7):158-163.  
[9] 石繁荣,黄玉清,任珍文,等. 自适应 Tree-Mesh 结构的大棚无线监测网络设计[J]. 农业工程学报,2013,29(5):102-108.

作者简介:

陈雪冬(1967-),男,湖南邵阳人,工学硕士,工程师,一直从事物理引信研究。

(上接第 58 页)

1)在超深井钻井时,空气压缩机等钻机动力系统对钻机平台的振动影响最大,振动的位移主要为 Z 方向的垂直振动,振动频率为 17.5,82.3 Hz 时振动的幅值达到最大,振动位移分别达到 1.203,1.16 mm。

2)在停钻出泥浆时,空气压缩机动力功率有所降低,低频段 Z 方向振动位移降至 0.403 mm,同时其他动力系统对平台的振动影响较小,振动的位移也主要为 Z 方向的垂直振动。

3)沙尘暴风力对钻机平台的振动也有较大的影响,振动频率主要集中在 30 Hz 的低频段,当风振频率在 11.5 Hz 时,Z 方向振动幅值达到 0.463 mm,同时风力振动的方向变化较大,对 X,Y 方向的振动均有一定影响。

另外,钻机平台的振动信号呈一定的周期性,周期性即为钻井时动力系统的基频与倍频的影响。在进行钻机平台结构减振时,应该从振动激励源的控制入手,合理布置钻井动力系统的位置;同时,也应该对钻机平台的自振频率计算,避免引起共振现象。

参考文献:

[1] 孙明光,彭军生. 国内外石油钻井装备的发展现状[J]. 石油钻探技术,2008,36(6):86-91.  
[2] 黄悦华,任克忍. 我国海洋石油钻井平台现状与技术发展分析[J]. 石油机械,2007,35(9):157-160.  
[3] 张克斌,河合英二,北 原. 沙漠油田钻井平台防风治沙试验模拟[J]. 北京林业大学学报,1997,19(1):93-96.  
[4] 赵 东. 组合抗振海洋平台振动控制研究[D]. 济南:山东大学,2006.  
[5] 冯汝建,赵 东,熊永功,等. 海洋平台振动测试与分析[J]. 济南大学学报,2004,18(2):114-116.  
[6] 陆建辉. 随机波浪载荷激励下海洋平台振动控制技术研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2004.  
[7] 曹冲锋. 基于 EMD 机械振动分析与诊断方法研究[D]. 杭州:浙江大学,2009.  
[8] 何岩峰,吴晓东,韩国庆,等. 示功图频谱分析新方法[J]. 石油学报,2008,19(4):619-624.

作者简介:

胡 灿(1983-),男,湖南益阳人,硕士研究生,主要研究方向为平台振动检测、故障诊断与振动控制。