

文章编号:1006-1355(2018)04-0198-05

海洋钻井平台注水泵机组故障测试分析

顾亚雄¹, 唐浩然¹, 纪 军²

(1. 西南石油大学 机电工程学院, 成都 610500;

2. 中海油能源发展装备技术机械技术服务中心, 天津 300452)

摘 要:针对某海洋石油钻井平台注水泵机组轴承频繁失效而影响正常生产的问题,以减小注水泵振动为出发点,采用多点布局测振方案对注水泵机组轴承关键点振动特性及平台甲板振动特性进行测试分析,找出导致轴承失效的主要原因。在建立平台甲板CAE模型基础上进行模态分析,提出解决注水泵机组轴承失效问题的平台甲板改造方案。注水泵机组在甲板改造后振动强度明显降低,注水泵机组轴承频繁失效问题得以解决,证实测振技术及基于CAE模型的模态分析技术在分析处理海洋钻井平台注水泵机组故障中的有效性。

关键词:振动与波;注水泵机组;轴承失效;振动测试;模态分析;CAE模型

中图分类号:TE952;TE934.1

文献标志码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2018.04.038

Measurement and Analysis of Injection Pump Unit Breakdown on a Marine Drilling Platform

GU Yaxiong¹, TANG Haoran¹, JI Jun²

(1. School of Mechatronic Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;

2. Energy Development Equipment Technology and Mechanical Equipment Service Center, China

National Offshore Oil Corporation, Tianjin 300452, China)

Abstract : Regular production was affected because of the frequent failure of injection pump units on marine drilling platforms. In order to solve the problem, vibration reduction of the pumps is studied. First of all, the measurement scheme of multi-spot layout is used to measure the vibration characteristics at the critical points of the bearings of the pump unit and the deck of the platform. And the measurement data is analyzed to find the main reason of the bearing failure. Then, the CAE model for the marine drilling platform is established and the modal analysis is carried out accordingly. Finally, the improvement scheme of the platform deck is proposed to solve the problem of bearing failure of the pump units. It is shown that the vibration intensity of the pump unit is reduced significantly after the improvement of the deck, the problem of frequent failure of the bearings of the pump unit is solved, and the effectiveness of the technology of vibration measurement and modal analysis based on CAE model in analyzing and processing failure of injection pump unit on marine drilling platform is proved.

Keywords : vibration and wave; injection pump unit; bearing failure; vibration measurement; modal analysis; CAE model

海洋石油钻井平台是海洋油气开发的关键装备,依据采多少油、注入多少水的平衡原理,海上采油作业为边采油、边注水的过程^[1]。海洋石油钻井平台高压注水泵机组作为海洋石油钻井不可或缺设备

之一,用于向海底地壳注入高压水,以保持地层压力^[2]。若高压注水泵机组出现故障,则无法进行正常的海上采油生产作业,可能导致系统停机、生产中断,进而影响生产效率,造成重大经济损失,若故障未能及时处理,更有可能造成重大生产事故,危及人身和财产安全^[3-4]。

包括注水泵机组在内的多种电机、泵体、压缩机等旋转机组在海洋石油钻井平台上工作。由于平台长期暴露在海洋中,海洋恶劣作业环境会对平台桩腿产生强烈的冲击,导致平台机电设备受到完全不

收稿日期:2017-12-01

作者简介:顾亚雄(1962-),男,博士,硕士生导师,主要研究方向为测控技术与仪器仪表。

通信作者:唐浩然(1992-),男,成都市人,硕士研究生,主要研究方向为计量与测试技术。

E-mail: 349289498@qq.com

同于陆地的振动激励作用,故大部分平台机电设备都存在故障频率高、工作寿命较短等问题^[5-7]。1990年初在某海洋平台上新安装四台相同的注水泵机组。按工程设计要求,常态下使用两台,备用两台。四台注水泵机组在累计运转时间不到半年的情况下,电机轴承相继出现故障,故障发生率远高于陆地用注水泵机组。表1为四台机组在两年时间内累计发生的维修统计数据。

表1 机组维修次数统计表

维修项目	电机大修	电机更换轴承	泵大修	泵小修
2012年维修次数	2	6	3	19
2013年维修次数	1	5	1	14

维修频率高,造成注水泵机组常常仅能单机运行,极大地威胁到海洋油气生产安全。因此,找出造成注水泵机组故障频发的主要原因并加以改进,对维护海洋油气生产的正常秩序,降低海上油气生产安全风险具有重要的现实意义。

1 注水泵机组故障现象描述

平台注水泵机组电机轴承频繁失效,经现场分解,发现轴承上存在的主要问题表现为内外滚道上存在大量凹痕,如图1所示。经对现场甲板、撬块和机组本身的振动情况进行初步定性测量分析比对,发现电机轴承频繁失效机组振动幅值较其它机组稍高,且该机组与其备机同时运行时存在轻微共振现象。此现象的产生可能与机组所在平台位置甲板支撑结构比较薄弱有较大关系。

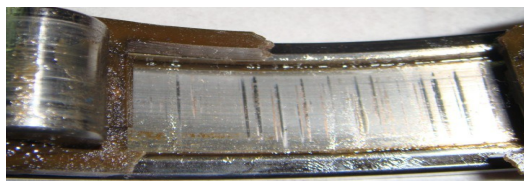


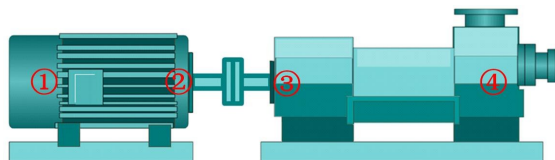
图1 轴承外滚道凹痕

2 测试过程与分析

2.1 注水泵机组振动测试分析

为找出注水泵机组振动速度最大值,分3种工况对四台注水泵机组采集振动数据。工况1:A-P231A/B同时运行;工况2:A-P231B单独运行;工况3:A-P231B与A-P131A同时运行。通过对不同工况下采集的振动数据进行分析,找出振动数据超标机组,判断出振源位置。测点分布如图2所示。

工况1:A-P231A/B同时运行时,机组A-P231A和A-P131A/B的各个测点振动速度见表2。通过测试振动数据分析发现:A-P231A/B同时运行时会A-P131A/B振动量级有一定影响,长期运行可能造成



① 测点1 - 水平、垂直、轴向; ② 测点2 - 水平、垂直、轴向;
③ 测点3 - 水平、垂直、轴向; ④ 测点4 - 水平、垂直、轴向;

图2 注水泵机组测点分布示意图

表2 A-P231A/B同时运行时各测点振动速度/(mm·s⁻¹)

		测点1	测点2	测点3	测点4
A-P231A	水平向振速	2.07	1.90	1.60	1.42
	垂直向振速	3.12	2.10	0.74	1.80
	轴向振速	5.10	3.30	1.60	0.60
A-P131A	水平向振速	0.13	0.13	0.09	0.11
	垂直向振速	0.30	0.30	0.30	0.30
	轴向振速	0.09	0.11	0.10	0.07
A-P131B	水平向振速	0.10	0.12	0.10	0.10
	垂直向振速	0.40	0.40	0.30	0.32
	轴向振速	0.09	0.13	0.12	0.13

A-P131A/B轴承磨损。

工况2:机组A-P231B单独运行时,A-P231A/B各个测试点振动测试结果见表3。分析表3中机组各个测点振动数据可知:A-P231B单独运行时振动速度基本稳定,但对A-P231A影响较大,振动速度最大值达3.0 mm/s,出现在电机负荷端垂直方向。在此工况下机组A-P231A不运转,因其受到振动激励作用而造成轴承滚柱与内外环之间只有垂直方向几个位置有接触,极易出现点蚀类磨损,这是电机轴承损坏主要原因之一。

表3 A-P231B单独运行时各测点振动速度/(mm·s⁻¹)

		测点1	测点2	测点3	测点4
A-P231A	水平向振速	0.73	1.02	0.81	1.06
	垂直向振速	2.05	3.03	0.71	1.50
	轴向振速	1.82	0.83	0.53	0.42
A-P231B	水平向振速	4.31	4.31	0.94	2.62
	垂直向振速	4.20	3.40	0.90	1.40
	轴向振速	3.96	3.42	0.91	0.43

工况3:A-P231B和A-P131A同时运行时,A-P131A/B各个测试点振动测试结果见表4。测点振动数据显示:A-P131A电机振动较大,泵振动较小,且机组A-P131A运行对机组A-P131B振动速度有一定程度影响,但明显低于工况2条件下单独运行机组A-P231B对机组A-P231A所造成的影响。

经过对以上三种工况下机组各测点振动速度分析,在工况2、3条件下都出现了电机振动较大而泵振动较小现象,且最大振动速度位于电机驱动端垂

表 4 A-P231B 和 A-P131A 同时运行时
各测点振动速度/(mm·s⁻¹)

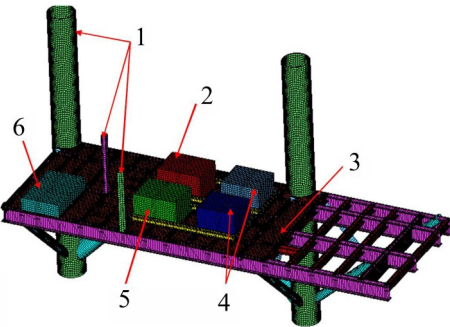
		测点 1	测点 2	测点 3	测点 4
A-P131A	水平向振速	0.80	0.92	1.90	1.53
	垂直向振速	3.70	1.91	1.65	1.30
	轴向振速	3.60	3.13	1.46	0.72
A-P131B	水平向振速	0.50	0.54	0.64	0.52
	垂直向振速	0.70	0.81	0.77	0.40
	轴向振速	0.51	0.41	0.42	0.53

直方向。考察比对注水泵机组所处平台各个位置甲板支撑结构布局情况,发现机组电机所在平台位置甲板支撑薄弱。初步判断甲板支撑薄弱是注水泵频繁失效的主要原因,此判断是否合理需对甲板进行模态分析后方可得到证实,进而形成平台甲板改造方案。

2.2 平台 CAE 模型的建立与模态分析

采用运行模态分析方法(OMA)对甲板进行模态分析找出甲板存在薄弱环节的具体位置,提出改造方案,首先建立注水泵机组所在平台的 CAE 模型。

在 A-P231A 与 A-P231B 两台机组同时运转状态下测量甲板上各规定点振动响应,以 A-P231A 电机与附加质量块之间一个甲板测点为参考点,获得其余测点相对该参考点传递率进行模态参数识别,进而得到甲板结构的频率、阻尼及振型等模态参数。以此模态参数为依据,同时结合平台约束条件与载荷条件,建立注水泵机组所在平台 CAE 模型如图 3 所示。



1. 支撑结构 2. A-P231B 电机 3. 甲板
4. 水泵 5. A-P231A 电机 6. 附加质量块
图 3 注水泵机组所在平台 CAE 模型示意图

平台约束条件与载荷条件具体内容为:

(1) 约束条件:支撑结构主要包括大立柱支撑、甲板工字钢支撑、斜支撑和小立柱支撑等。以上支撑结构中,因大立柱支撑的上下端和甲板工字钢支撑的垂向端的振动很小,分析中将这两处支撑结构所包括的约束条件假设为固定约束条件;

(2) 载荷条件:平台载荷主要包括有风载、水泵激励、电机激励和海洋激励等。由于海洋激励和风载激励的频率较低,除飓风或巨浪外,不会对轴承产生冲击载荷,载荷条件分析仅考虑水泵和电机的激励。

平台模型建立后,按照约束条件对其施加载荷进行包含振型仿真和振动仿真在内的模态仿真分析。平台结构振型仿真分析如图 4 所示。分析发现该振型约束为某阶结构约束模态,主要表现为电机与泵体结构的左右摆动和少量上下扭动。其中泵后端甲板和电机前端甲板还存在局部结构约束情况,该约束条件会对电机轴承产生较大的冲击载荷,从而降低轴承寿命。

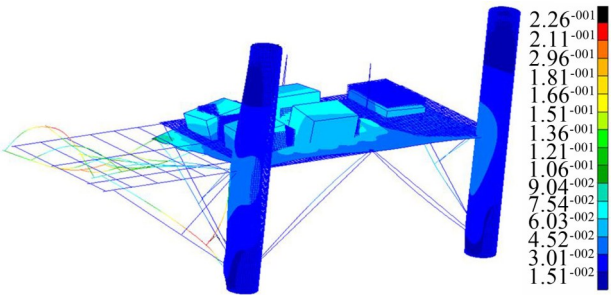


图 4 平台结构振型仿真图

对平台模型中电机施加 50 Hz 激励所进行的平台结构振动仿真分析结果如图 5 所示。分析发现,所施加载荷一方面引起了主要分布在泵一侧甲板和电机前端甲板区域的局部共振;另一方面,由于注水泵机组撬块附近甲板刚度不一致,造成电机自身左右摆动以及轻微上下扭动。电机左右摆动和上下扭动都会导致轴承承受载荷增大,缩短轴承寿命。

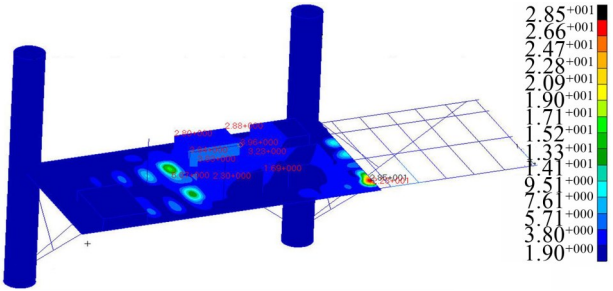


图 5 平台结构振动仿真图

通过以上分析,确认注水泵机组所处平台位置甲板支撑薄弱是注水泵机组频繁失效的主要原因,同时还发现左边甲板支撑明显好于右边甲板支撑。因此,以解决注水泵机组所在位置甲板支撑薄弱问题为出发点,并以右边甲板为主要研究对象来制定甲板优化改造方案,左边甲板优化改造方案与右边甲板优化改造方案保持一致即可。

3 平台改造效果分析

3.1 平台改造优化方案

将原结构模态仿真与平台振动测试结果对比分析,判明电机前端振动较大且电机左右两端甲板支撑刚度不够均匀,导致电机出现左右摆动与上下扭动现象。针对上述现象,制定以下振动优化改造策略:

(1) 通过改变甲板支撑优化甲板振型,使其有利于电机平稳运行;

(2) 在保证甲板刚度的同时,尽可能均匀设计机组撬块四角附近甲板刚度,以保证甲板在振动过程中尽可能减少对电机运行的影响。

根据以上策略分析提出以下平台改造优化方案:先去掉甲板上的两根支撑,然后在电机前端甲板支撑处延伸出两根梁,水泵所在甲板处增加一根筋板,如图6所示。

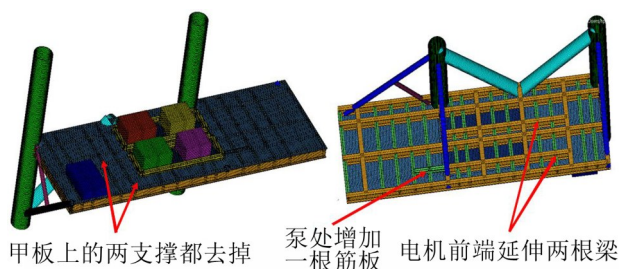


图6 优化示意图

由于经实际测振已判明在各种工况下机组最大振动速度位于电机驱动端垂直方向,因此,依据优化方案按照图7布置垂直方向仿真测点,再进行垂直方向振动仿真测试,并与原结构垂直方向振动仿真结果进行对比分析。

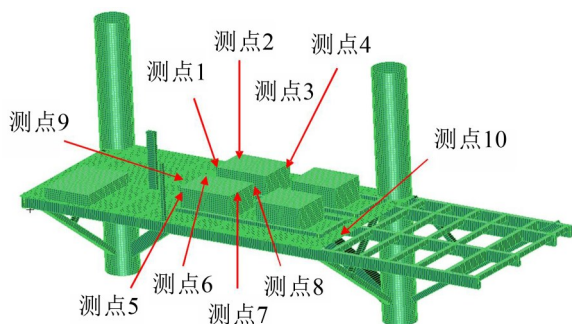


图7 仿真测点布置图

表5为平台结构优化前后两种情况下的各测点

垂直方向仿真振动速度数据对照表。经对比分析,发现各测点垂直方向仿真振动速度均明显下降,即通过对平台甲板进行优化改造,现场振动情况可获得有效改善。

3.2 平台甲板改造后对注水泵机组减震效果分析

经过前述论证,现场需在四台注水泵机组甲板正下方位置加焊8根H型钢梁,与该层甲板原主结构梁相焊接,以加强此处强度,达到降低振动效果。平台甲板改造前后支撑结构实际变化对比见图8。



(a) 平台甲板改造前结构 (b) 平台甲板改造后结构
图8 平台甲板改造前后结构对比图

平台甲板改造完成后对注水泵机组再次进行振动测试。改造前后各个机组不同方向振动数据比较如图9所示。

通过对机组改造前后振动数据对比分析可知,改造后A-P131A等四台注水泵机组大部分测点振动速度下降明显,表明基于平台CAE模型运用模态分析方法所制定的平台改造优化方案有效,达到了较好减振效果。

现场施工结束后一年内,现场机组振动速度变化不大,机组轴承也未出现失效现象。通过对注水泵机组所在甲板进行改造,成功地将轴承损坏频率降低到1次/年以下,在提高了生产效率的同时也降低了安全风险。

4 结 语

以处理海上钻井平台注水泵机组轴承频繁失效的问题为例,从电机故障产生原因入手,对机组多个关键点进行振动测试,判明机组电机振动速度偏大是机组轴承失效的直接原因。结合机组所在甲板支撑结构布局分析,确认甲板支撑薄弱为机组轴承失效的源头。围绕解决甲板支撑薄弱问题,建立平台CAE模型,进行模态分析,提出了针对平台注水泵频繁失效问题的改造优化方案与具体实施措施。通过机组所在甲板改造前后现场多点振动测试数据对比分析,证实了制定的平台改造优化方案对降低注水泵失效频率的有效性,对实现注水泵机组故障可控、

表5 原结构与优化结构各测点垂直方向仿真振动速度/(mm·s⁻¹)

测点	测点1	测点2	测点3	测点4	测点5	测点6	测点7	测点8	测点9	测点10
原结构	3.940	2.800	3.960	2.880	2.300	3.830	1.690	3.230	6.070	22.30
优化结构	0.759	0.657	0.652	0.522	1.200	1.090	0.818	1.180	1.270	0.991

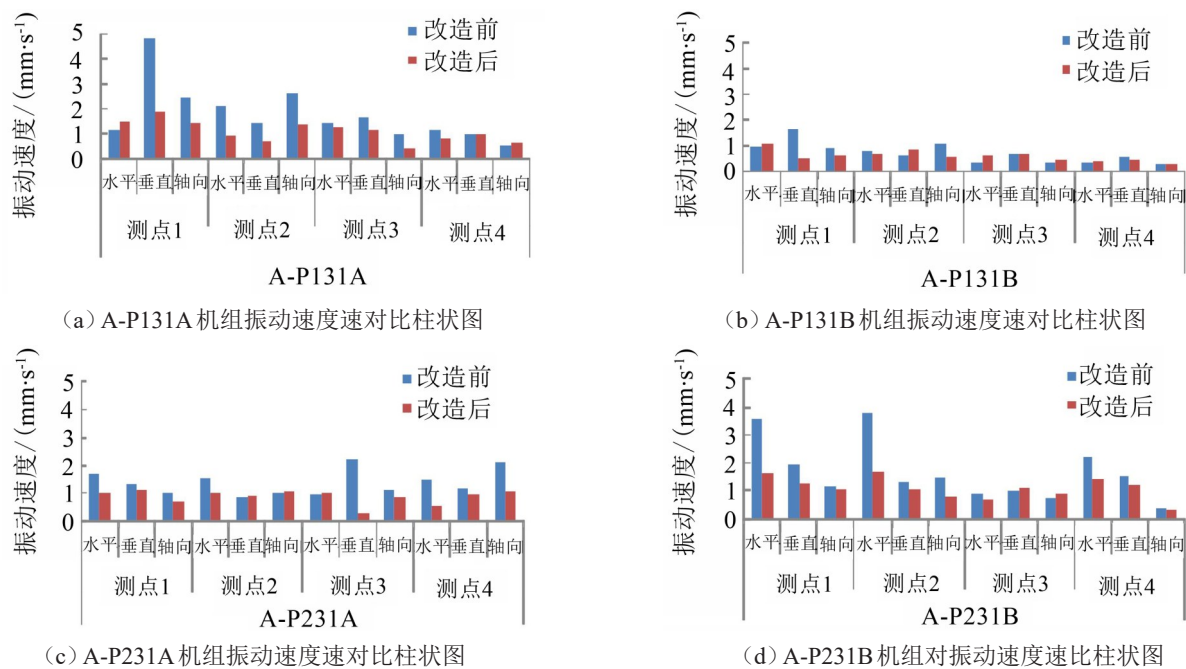


图9 改造前后各个机组振动速度对比图

降低海洋油气生产安全风险、提高生产效率等具有积极作用。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 崔节国,王国华,张庄生.海上采油平台注水泵的研制[J]. **石油和化工设备**,2012,15(6):23-26.
- [3] 张兴才,宋立崧,申仲翰.海上油气生产安全风险分析[J]. **中国海上油气工程**,1999,11(3):59-64+6-34.
- [4] 郭恒,陈国明.海洋钻井平台事故致因分析与评价指标研究[J]. **中国安全生产科学技术**,2012,8(3):108-113.
- [5] 王定亚,丁莉萍.海洋钻井平台技术现状与发展趋势[J]. **石油机械**,2010,38(4):69-72.
- [6] 王喆,周大林.振动检测在海洋平台完整性管理中的应用[J]. **制造业自动化**,2013,35(6):173-174+177.
- [7] 张用德,袁学强.我国海洋钻井平台发展现状与趋势[J]. **石油矿场机械**,2008,37(9):14-17.

(上接第110页)

(2) 根据厚度分布云图对声学包成型件进行了三种区域划分,并对这三种区域划分方法的仿真结果与试验结果进行了对比,结果表明细划分方法优于中划分方法,中划分方法优于粗划分方法;

(3) 采用混合FE-SEA法建立的汽车前围声学包细划分混合模型,其插入损失仿真值与试验值在200 Hz~630 Hz频段内具有较好的一致性,表明了该混合模型在200 Hz~630 Hz频段内的有效性,同时为处理该类问题提供了参考。

参考文献:

- [1] 葛锋,李勇,顾彦. SEA在汽车声学包降本设计中的应用[J]. **上海汽车**,2012(7):45-48.
- [2] BERTOLINI C, COURTOIS T. An SEA-based procedure for the optimal definition of the balance between absorption and insulation of lightweight sound package parts[J]. **Discourse Studies in the Cultural Politics of Education**,2012,12(2):85-115.
- [3] ZHANG J, PANG J, ZHANG S, et al. A lightweight dash insulator development and engineering application for the vehicle nvh improvement[C]// SAE 2015 Noise and Vibration Conference and Exhibition, 2015: 432-433.
- [4] 杜爱民,邵长慧,邵建旺,等. 发动机声激励下的前围和地板声学包优化[J]. **佳木斯大学学报(自然科学版)**,2015,33(5):641-646.
- [5] 耿小华. 基于FE-SEA和SEA方法的车内中高频噪声研究[D]. 吉林:吉林大学,2012.
- [6] 李明,卢兆刚. 基于混合FE-SEA方法的围板类薄壁件中频声传递损失研究[J]. **舰船科学技术**,2012,34(11):32-36.
- [7] SHAO J. Optimal design of vehicle dash and floor sound package based on statistical energy analysis[C]// SAE World Congress, 2015.
- [8] 邓江华. 防火墙总成特性对汽车声学包性能影响[J]. **噪声与振动控制**,2014,34(3):78-81+85.