

钢弹簧阻尼隔振器新技术在海上采油平台的应用

戴凝
(中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300000)

摘要: 通过对中国海油辽东作业公司锦州 25-1 南 CEPF 平台中压压缩机 C 机组撬块支撑平台下安装的 12 组 AVM (Anti-Vibration Mount), 即钢弹簧阻尼隔振器, 在陆地、海上两个阶段的振动值测试试验, 得出该装置可有效衰减机组对外界振动能量的传递, 进而大大降低机组自身故障率, 并可广泛推广应用于其他海上平台。
关键词: 海上平台; 压缩机; AVM; 隔振器; 振动; 频率

1 项目立项背景

作为中国国内三大石油公司之一, 中国海油自成立即肩负起国内海上石油开采的重任。近年来, 随着我国国力的强大与海洋石油开采技术的日趋成熟, 中海油放眼国际市场, 欲获得石油生产相关先进技术并获取部分国际石油资源。中国海洋石油总公司的发展壮大取决于其卓越的管理水准, 在不断致力于精尖开采技术研发的同时, 又提出“降本增效”的先进理念。对于德国隔而固公司生产的钢弹簧阻尼隔振器 (AVM) 的应用, 便是“降本增效”理念实施的又一次尝试, 该装置可大大减少设备故障检修率, 且有效降低了平台结构钢材质的费用。

中国海油辽东作业公司锦州 25-1 南 CEPF 平台中压压缩机 C 机组撬块支撑平台下 AVM 的安装, 为国内首次于海洋采油平台的应用, 效果理想后或可广泛推广应用于海上平台各设备撬块支撑平台的安装。

2 新技术的功能及原理介绍

钢弹簧阻尼隔振器为低频支撑衰减高频振动原理的应用。该隔振器适用于机组自身运转时, 激励频率超过 8Hz 和有外力作用 (如风载荷、波浪载荷和偶然载荷等) 的环境。采用 7 个弹簧和 1 个阻尼块组成, 由弹簧弹性形变储存振动能量, 阻尼液分子间运动消耗振动能量, 从而达到衰减振动能量的目的, 且有效降低甲板对机组反作用力的损坏作用。

由作用力等于其反作用力可知, 平台甲板对机组的反作用力其公式为:

$F'' = F - C \cdot v - K \cdot s$; 其中, F 为机组运转产生的激振力, C 为阻尼系数, K 为弹性系数。

当机组自身激振力一定时, 在装有含弹簧和阻尼的柔性支撑下, 平台甲板对机组的反作用力将大大降低, 由此对设备各零部件的损坏也可大幅削弱。

3 现场安装测试

3.1 陆地建造期间撬块支撑平台结构 EMA 测试

通过试验将采集的系统输入与输出信号经过参数识别获得模态参数。而模态作为结构所固有的动态特性, 包括固有频率、阻尼比、振型等参数。试验模态分析 (EMA), 即通过力锤激励使传感器测得连续信号形成振型进而计算出结构的固有频率。

3.1.1 目的

识别机组撬块支撑平台自身振动固有频率及其对应振型, 经过设计上的改进, 如改变 AVM 支撑位置, 使得结构在受外界激振力干扰时, 受到最小影响而较好保持结构自身稳定性, 以此避免结构自身固有振动频率与外界激振力频率相同, 而产生共振现象 (因共振频率与系统的固有频率近似相等)。

3.1.2 测试传感器介绍

传感器为低频磁电式速度传感器或加速度传感器, 内部由质量块等精密部件组成, EMA 分为水平方向信号测试和垂直方向信号测试, 所采用的传感器类型也不相同。测试中, 传感器的质量块随撬块支撑平台上下及左右移动而移动 (肉眼看不见), 所测信号反映到 DASP 取样分析软件中, 由各单点量组成连续量进而形成振型, 供测试人员进行分析。

3.1.3 测试信号介绍

EMA 测试中所采用的测试信号:

速度信号 (mm/s), 为国家标准, 分为低中高 3 个速度档位; 加速度信号 (mm/s²), 为国家标准, 仅有 1 个加速度档位。

3.1.4 测试注意事项

在进行力锤激励时, 需注意力锤的选择, 因输入激励的频率范围主要由力锤硬度决定, 力锤越硬则能量多集中在相对高频段, 力锤越软则能量多集中在相对低频段;

在采样时间范围内, 为避免采集信号泄漏, 对于测得数据应进行加窗, 最常使用的窗函数为指数衰减窗;

传感器的选择应考虑其量程、灵敏度、频响范围、相对被测物的附加质量、尺寸和安装方式等等;

选择多点激励, 多点布置传感器, 测试点的选取要选在振动显著处。

3.1.5 测试过程分水平方向测试和垂直方向测试

水平方向采样频率设置为 51.2Hz, 测试为撬块支撑平台上下两层南北方向各取 6 个测试点, 共 24 个测试点, 将低频传感器通过橡皮泥固定在测点处, 分为 4 组测试, 每组测试时间 30min, 共计 120min。

测试结果如下: 垂直方向采样频率设置为 10.24KHz, 测试为撬块支撑平台上下两层共取 28 个测试点, 分为 4 组, 测试时间共计 60min, 用带传感器的激力锤垂直方向敲击撬

块表面测得。每个敲击点敲击三次，目的是防止力锤敲击力度不当，造成测量误差，多次敲击后再平均计算能减少测量误差。

正确力信号为半正弦的瞬时脉冲信号，其力谱为宽频带，随着频率轴呈衰减趋势，最后无限接近频率轴，幅值也接近于零。

因平台中压压缩机转速为 1000r/min，即激励频率为 16.7Hz。撬块支撑平台的自身固有频率水平方向及垂直方向均远离机组激励频率。因此，对于中压压缩机 C 机组撬块不会产生自身共振现象。

因水平振动频率在第 8、9 阶才接近机组激励频率，振动能量已大量衰减，故水平方向振动影响可忽略不计，故在接下来的试验分析中只对垂直方向振动量作分析。

3.2 海上调试期间振动对比试验

分别对已安装 AVM 的中压压缩机 C 机组和未安装 AVM 的中压压缩机 B 机组支撑平台上和与其垂直对应的甲板上取点测试其振动，通过振动对其撬块支撑平台由上向下传递损失的比较，进而对比弹性支撑底座与刚性支撑底座对振动的衰减情况。

3.2.1 试验传感器的选择

测试传感器主要分为速度传感器、加速度传感器和位移传感器。其中，速度传感器频率范围为 0.17 ~ 100Hz，分水平和垂直方向；加速度传感器为三轴传感器，即一个测点可以测出 X、Y、Z 三个方向的加速度值，频率范围为 0 ~ 8000Hz；位移传感器也为三轴传感器，频率范围为 0 ~ 10Hz。描述设备振动强度的物理量主要有位移、速度和加速度，这三者可以相互转化，对描述振动没有任何区别，只是不同频率下位移、速度及加速度测量传感器的适用性造成的影响，致使这三个指标有各自的应用场合，如位移传感器用在低频大位移情况，速度传感器用在中低频回转设备结构振动中，加速度传感器用在高频冲击、管路脉动所产生的高频振动。

因中压压缩机机组激振力由电机带动曲轴回转产生，激励频率为 16.7Hz，故对于本次试验采用适宜中低频测试的速度传感器较为合适。

3.2.2 试验注意事项

试验尽可能在同等的条件下进行，即环境条件，如风向、风速相差不大；平台其他设备运行条件，如中层甲板所运行设备的种类、数量及工况基本一致；试验机组运行条件，如机组自身性能、运行带载情况大致相同。

试验进行中，靠近传感器的其他工作人员避免做出跺脚、扔重物等影响数据采集准确性的行为。

3.2.3 试验过程及结果

在中压压缩机 C、B 上各取 8 个点，为撬块底座平台上西南、东南、东北、西北四个角和与之各自位置垂直对应的甲板上的点，分别标为测点 1、2……7、8。利用振动数据采集仪，分别对 8 个点进行振动检测，对比测点 1、4、2、3、5、8、6、7 的振动值，分析出振动垂直分量的衰减情况，进而

获得试验结果。

C 机组经测试：

测点 1 的振动速度有效值是 1.46mm/s；测点 4 的振动速度有效值是 0.21mm/s。激励频率是 16.7Hz。能量衰减 85% 左右，即隔振效率为 85%。

测点 2 的振动速度有效值是 1.06mm/s；测点 3 的振动速度有效值是 0.23mm/s。激励频率是 16.7Hz。能量衰减 79% 左右，即隔振效率为 79%。

测点 5 的振动速度有效值是 1.37mm/s；测点 8 的振动速度有效值是 0.31mm/s（受高压压缩机的影响）。激励频率是 16.7Hz。能量衰减 77% 左右，即隔振效率为 77%。

测点 6 的振动速度有效值是 1.27mm/s；测点 7 的振动速度有效值是 0.31mm/s（受高压压缩机的影响）。激励频率是 16.7Hz。能量衰减 76% 左右，即隔振效率为 76%。

B 机组经测试：

测点 1 的振动速度有效值是 1.11mm/s；测点 4 的振动速度有效值是 0.98mm/s。激励频率是 16.7Hz。能量几乎不衰减。

测点 2 的振动速度有效值是 1.23mm/s；测点 3 的振动速度有效值是 1.09mm/s。激励频率是 16.7Hz。能量几乎不衰减。

测点 5 的振动速度有效值是 1.43mm/s；测点 8 的振动速度有效值是 1.37mm/s。激励频率是 16.7Hz。能量几乎不衰减。

测点 6 的振动速度有效值是 1.26mm/s；测点 7 的振动速度有效值是 1.17mm/s。激励频率是 16.7Hz。能量几乎不衰减。

由试验所测数据可知，在机组单独工作时，装有 AVM 的 C 机组系统，对机组自身激振力垂直方向的衰减情况，远远优于未安装 AVM 的 B 机组系统。

4 现场使用情况评估

中压压缩机自调试完成投入正常运转使用至此已有一段时间，对于撬块支撑平台下方已安装 AVM 的 C 机组系统，其支撑平台、附近甲板的振感及系统内管线、阀门的振动幅度，明显小于未安装 AVM 的 A、B 机组。C 机组系统内压缩机、电机及管路阀门、管卡等的固定螺栓松动情况优于 A、B 机组；随时间推移，差异化愈发突出显现，C 机组系统内压缩机及电机零部件、管线上机械式阀门及各电磁式阀门等故障率明显低于 A、B 机组系统。

5 日常维保措施

AVM 为高可靠性设计，无需特别进行维保，但在日常巡检时需关注两方面。

一方面是检查每组 AVM 的 7 个钢弹簧外表面喷塑是否出现破损情况。因海上盐雾较重，喷塑破损使得钢弹簧直接裸露于空气中，易造成锈蚀、变形，在使用 2 至 3 年后会明显影响其隔振效果。

另一方面是检查每组 AVM 的阻尼块是否有阻尼液溢出

（下转第 49 页）

安全生产是所有工程施工中最重要的部分,风电项目的施工也不例外,在工程建设的过程中,要把安全生产放在第一位,这就要求充分落实安全生产责任制,将责任明确到每个人身上,不能因为片面的追求施工速度而忽略了安全问题,只有将两个方面都放在同等重要的位置,才能充分保证施工的可持续性和稳定性,只有保障每一个施工人员的生命安全,才能调动起每个人的生产积极性,通过日常的安全培训会,引起所有员工对于安全意识的重视程度,不仅如此,还要监督身边其他同事加强安全责任学习和落实相关安全制度,从而使安全责任制在企业中广泛推广,真正的发挥安全生产责任制的优势。

3.3 抓“三基”,夯实安全基础管理

加强对风电建设基层部门的管理,对于参加项目建设的其他外来技术人员和管理人员,进行统一管理和要求,定期开展安全教育与基础技能知识的培训,并且这种培训应该覆盖风电企业所有员工,在进行培训之后进行相关知识点的考核。除此之外,还要加强对重点技术部门的职业技能培训,技术人员通过相关技术的培训与学习,熟练的解决风电项目中可能遇到的技术难题,在解决问题的过程中丰富自己的知识储备。不仅如此,通过日常的培训提高员工的责任意识和安全意识,掌握一定的安全技能,但遇到危险的时候可以保护自己,每个施工人员还要学会对风电项目建设中的风险进行评估,具备一定的风险控制能力。

3.4 提高安全管理人员综合素质

通过加强对人防,物防,技防三个方面的管理,提高整个工程的安全管理与控制。在实际的员工生产和作业环境中,仍然存在着较多的客观风险,通过使用现代科学技术完全可以将一些潜在的风险消除在隐患之中,这样可以极大的帮助员工规避一些安全隐患和风险,并且施工单位还要在生产车间安装好视频监控,对整个生产车间进行全天时监控,提高整个生产过程的规范性。在组织员工进行安全教育培训的时候,要使用视频录像设备进行保存;通过车间的视频监控不仅可以及时响应和处理安全生产问题,还能提高员工的生产积极性,并对其进行有效的监督。尤其是随着现代 BIM 技术的逐渐普及和应用,也可以在风电项目中充分发挥 BIM 技术

的优势,通过现场演示可以使员工可以生动形象的看到安全管理的重要性,促进生产资源的合理配置,减少安全隐患的出现。

3.5 推行标准化安全管理

正是因为风电技术相对而言还不是很成熟,没有建立标准的安全管理体系,在实际的施工过程中,在进行操作的时候,会导致部分项目不能很好的对接,这就造成了大量的资源浪费,导致效率低下。风电建设工程的重点施工内容包括,对进场道路进行重点施工处理,升压站,风机吊装等。其中,对升压站和吊装等区域开展施工的时候,要优化管理措施,对这两个施工区域进行标准化划分,并且在施工现场设置标识物,在具体的施工流程和环节设置标准卡,采取定制化和一体化方式进行统一管理,将已经稳定运行比较成熟的管理模式向其他区域推广实施。

4 结语

总而言之,风电项目在建设的进程中,具有时间周期长,涉及到的工程技术水平高,环节繁多,受自然环境的影响大等特点,所以,必须构建一个完整的安全风险管理体系,通过运行这个体系去检查风电工程中可能存在的一些隐患,及时的发现项目中所存在的问题,及时的进行解决,只有这样才能对可能出现的安全风险进行重点监控,对日常安全隐患中存在的难题进行重点解决,保证风电项目顺利运行。

参考文献:

- [1] 杨静东. 风力发电工程施工与验收 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2019.
- [2] 陈家悦. 风电工程安全管理与控制 [J]. 低温建筑技术, 2018(12):165-166.
- [3] 杨薛亮, 陈建东, 王强, 等. 海南东方感城一期风电项目安全质量管理综述 [C]. 第四届全国工程建设行业吊装市场研讨暨技术交流论文集, 2018:260-264.
- [4] 李世鹏. 初探风电场工程建设安全管理 [C]. 中国电力企业联合会全国风力发电技术协作网第七届年会论文集, 2017:195-199.

作者简介: 孟浩 (1982.01-), 男, 汉族, 山东济南人, 本科, 工程师, 研究方向: 新能源企业安全管理。

(上接第 47 页)

情况。阻尼液为无色粘稠状液体,当阻尼块密封面损坏后,阻尼块中会渗入水气,因水的密度比阻尼液大,阻尼液会浮于水上并最终溢出,使得 AVM 的隔振功能大大减弱。

6 结语

AVM 隔振技术已在桥梁建筑、高铁地铁、陆地工厂等领域广泛应用,在海上平台的首次应用尝试效果也较为良好,其科学性、实效性已经过多行业多领域反复验证,属较为成熟的隔振减振技术。装置自身结构简单、稳定性高、维护维保较为方便,对激振力引起振动的衰减效果较为突出;可大幅提高机组运行的稳定性与安全性,减少了已安装设备及其附近设备的故障率,降低了维修设备的频次及时间,缩减了

检修人力、物力的成本,提高了设备的使用寿命;降低了海上平台建造使用钢结构的强度要求,扩大了建造平台对钢结构的选取范围;对于新设计建造的海上采油平台,该技术可予以广泛应用。

参考文献:

- [1] (美) 席尔瓦. 振动阻尼、控制和设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [2] 曹树谦, 张文德, 萧龙翔. 振动结构模态分析—理论与实践 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2014.

作者简介: 戴凝 (1989.07-), 男, 汉族, 浙江衢州人, 本科 (工学学士), 助理工程师, 研究方向: 海上采油平台工程建造。