

核电厂智能主动型隔振支架设计研究

詹敏明 夏 栓 武心壮

(上海核工程研究设计院有限公司 上海 200233)

摘要: 管系振动是核电厂常见问题之一, 管系振动对核电厂的危害极大。本文采用自适应前馈控制算法, 完成智能主动型隔振支架的设计和制造, 搭建隔振支架性能试验台架, 完成支架的隔振性能研究。通过智能主动型隔振支架的研究, 得出智能主动型隔振支架既能够满足核电厂支架抗震功能的要求, 又能很好地切断管系振动能量的传播, 避免管系振动传递到墙体上, 具有良好的隔振效果。

关键字: 隔振支架; 主动控制; 自适应前馈控制

0 引言

在工业领域, 管系振动是常见的问题之一, 引起管系振动的原因很多, 例如流致振动、设备旋转等。振动对管系的危害极大, 不但能够引起材料疲劳, 还能引起振动和噪声污染, 影响工作人员身心健康。在民用工业中, 常采用如橡胶、弹簧等材料制成的隔振支架安装在管道上, 削弱振动能量的传递, 切断传播路径。

在核电厂中很少采用传统材料的隔振支架。一方面是因为隔振材料的物理属性限制, 例如橡胶在高温、高湿、辐射等核电厂环境中长期服役; 另一个方面是核电厂的管道通常具备抗震功能, 而且传统的隔振支架的刚度和强度差, 不能满足核电厂的管系在地震工况下不发生功能破坏或结构破坏的抗震要求。

本文以国内某型核电站主蒸汽管道流致振动引起噪声的问题为背景, 开展智能主动型隔振支架的设计研究, 该支架同时具备抗震功能和隔振功能, 既在核电厂地震工况下能够提供足够的刚度和强度避免管系发生破坏, 又能在核电厂正常运行工况下提供隔振功能减少振动能量传递到厂房结构中。

1 方案设计

1.1 设计原理

采用工字钢搭建支架的结构部件, 工字钢具有较高的刚度和强度, 在核电厂中

作为管道抗震支架的主要材料, 因此采用工字钢制造的隔振支架能够具备抗震功能。

在支架内部的工字钢构件上安装两组电磁作动器和加速度传感器, 方向分别与管道截面两个方向相同。当管道振动传递到支架上时, 加速度传感器将实时振动信号传递到处理器, 处理器分析后产生执行信号到电磁作动器, 电磁作动器将自身振动利用惠更斯定律加以抵消。原理框图如图 1 所示。

智能主动型隔振支架分为现场部分和控制机柜部分, 现场部分安装在管道上, 主要包含支架、作动器和传感器, 控制机柜部分布置在环境条件较好的电气间, 主要包含数据采集、处理和输出模块。

1.2 控制算法

自适应控制算法主要是基于自适应滤波的前馈控制。前馈控制具有实现简单、稳定性好的优点, 在能获得与初级压力脉动波相关性好的参考信号的情况下, 智能主动型隔振支架的控制算法采用自适应前馈控制算法。

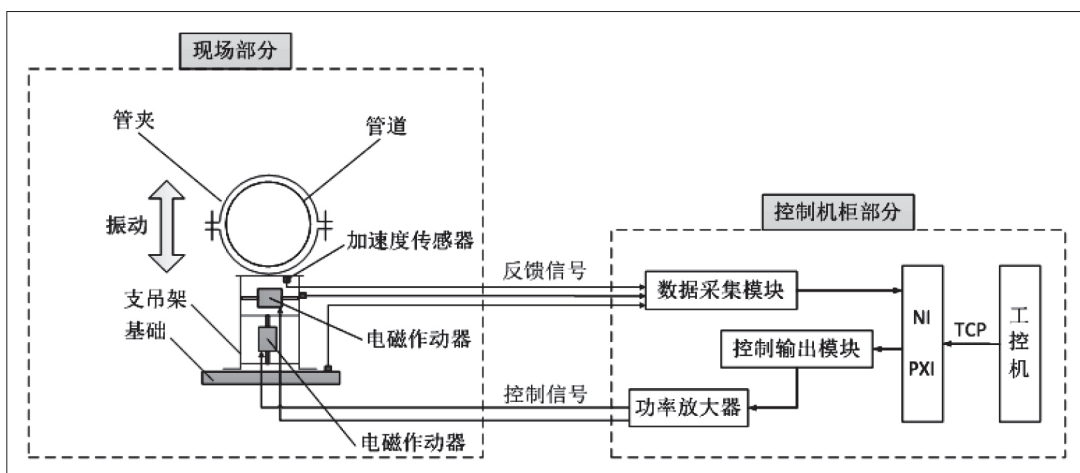


图 1 智能主动型隔振支架原理框图

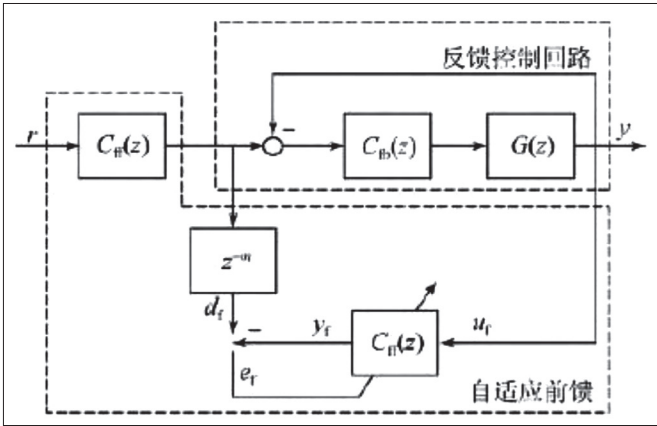


图 2 自适应前馈控制框图

自适应前馈控制 (Adaptive Feed-forward Control) 是指在没有干预的情况下, 随着运行环境改变而自动调节自身控制参数, 根据扰动或给定值的变化按补偿原理来工作, 以达到最优控制的控制方法, 如图 2 所示。

自适应前馈控制的算法主要公式如下:

$$\begin{cases} y_i(n) = \sum_{l=0}^{L-1} w_{i,l} x(n-l) \\ e_j(n) = d_j(n) - s_{ij}(n) * y_i(n) \\ \omega_i(n+1) = \omega_i(n) + \mu_i \sum_{j=1}^{10} X'_{ij}(n) e_j(n) \\ X'_{ij}(n) = [x'_{ij}(n), x'_{ij}(n-1), \dots, x'_{ij}(n-L+1)]^T \\ x'_{ij}(n) = \sum_{h=0}^{H-1} \hat{s}_{ij,h} x(n-h) \end{cases}$$

选择支架与管道连接处的加速度作为控制器的输入信号, 通过自适应调节构建一个 FIR 滤波器, 输入信号通过该滤波器后产生的信号即为控制器输出的控制信号, 该信号经过功率放大器后驱动电磁作动器工作。线性 FIR 滤波器的调节是以实现误差信号能量最小为

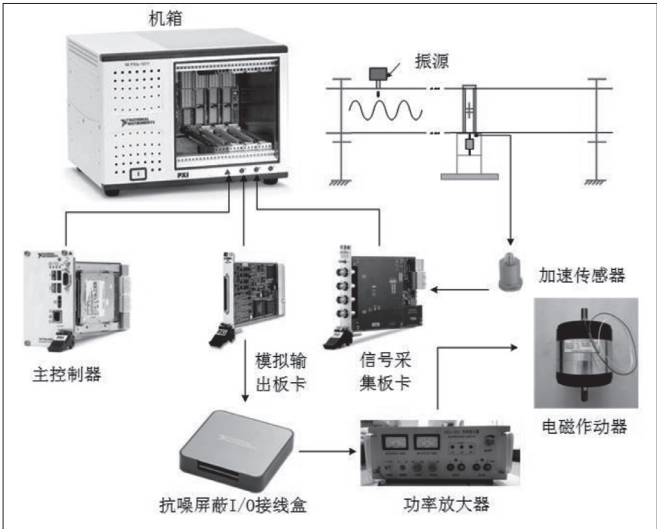


图 3 硬件系统结构图

目标的, 该调节过程基于 LMS 算法实现。

1.3 硬件系统

根据图 1 的原理框图, 智能主动型隔振支架的控制系统组要由加速度传感器、信号采集板卡、主控制器、模拟输出板卡、功率放大器和电磁作动器等硬件组成, 硬件系统结构如图 3 所示。

控制系统的主要硬件参数如表所示。

表 主要硬件参数

序号	硬件	参数
1	电磁作动器	最大作用力 120N, 频率范围 0~2.4kHz, 最大振幅 ±5mm
2	加速传感器	灵敏度 50mV/g, 量程 100g, 频率响应 0.5~5kHz
3	主控制器	2.6GHz, 双核 i3 处理器
4	信号采集板卡	24 位, 4 通道, 最大更新速率 205kS/s, 内置 IEPE 激励电路
5	模拟输出板卡	12 位, 4 通道, 最大更新速率 1MS/s, 输出电压范围 ±10V
6	功率放大器	最大输出电压 35V, 最大输出电流 10A, 输入信号 -5V~+5V
7	抗噪声屏蔽 I/O 盒	SCB-68A 接线盒

表中的硬件参数基本能够覆盖核电厂管道振动的频率范围, 智能主动型隔振装置的适用频率范围为 50~500Hz 的管道振动。

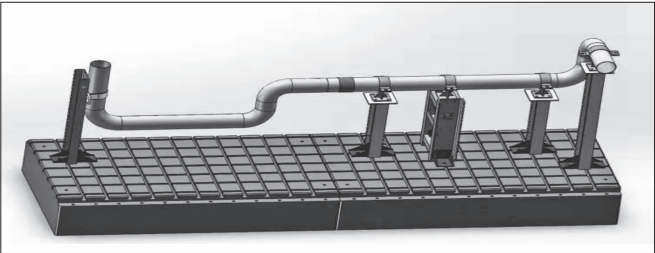


图 4 试验台架三维示意图



图 5 安装完成的试验台架

2 隔振性能试验

2.1 试验台架

隔振性能试验台架包括一段管道和数个支架, 以及一个振动发生器, 振动发生器采用电磁激振器模拟管道

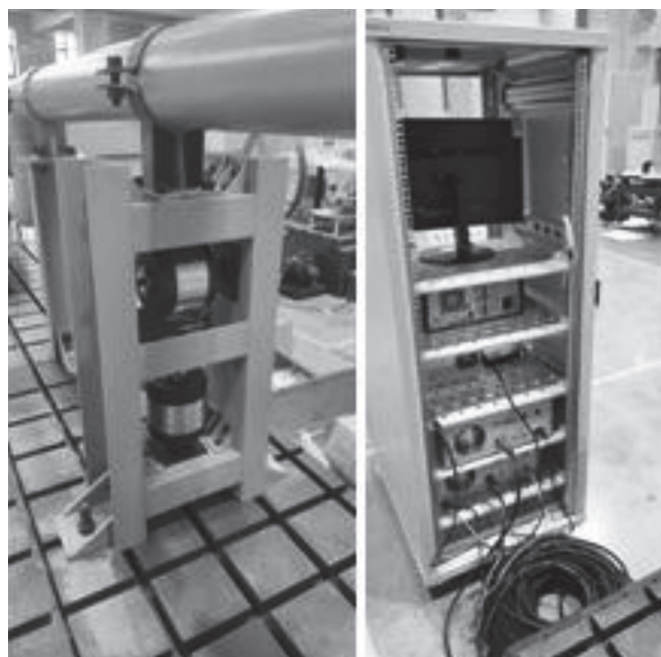


图 6 隔振支架和控制系统机柜

振动, 试验台架能够模拟 50 ~ 500Hz 频率的管道振动。

试验台架三维示意图如图 4 所示。

将隔振支架安装在试验台架上, 并连接控制系统, 试验台架实物图如图 5 所示。

试验台架中, 安装完成的隔振支架和调试完成控制系统机柜, 如图 6 所示。

2.2 隔振试验

隔振支架性能试验是设备开启前后, 隔振支架地面附近的振动变化。测试内容包括三个部分: 国内某型核电厂管道振动频率 189Hz 下隔振效果; 低振动加速度 (0.1g) 工况下的隔振效果; 50~500Hz 频率范围的隔振效果。

2.2.1 189Hz 振动频率下的隔振效果

激振器设置为竖直方向, 激振力输出为 100N, 频率为 189Hz, 隔振性能测试结果如图 7 所示。

在 189Hz 管道振动频率下, 隔振支架的时域隔振效果为 3.5dB, 频率隔振效果为 10.3dB, 试验结果显示隔振支架具有很好的隔振效果。

2.2.2 0.1g 振动加速度下的隔振效果

激振器设置为竖直方向, 激振力输出为 10N, 实测管道振动加速度约为 0.1g, 频率为 189Hz, 隔振性能测试结果如图 8 所示。

振动频率 189Hz 不变, 振动加速度为 0.1g 时, 隔振支架的时域隔振效果为 1.8dB, 频率隔振效果为 2.7dB。试验结果表明低振动加速度工况下, 隔振支架的隔振效果降低, 原因一方面是由于支架安装的间隙导致了控制系统敏感度降低, 另一方面是由于支架的刚度大, 低幅振动工况下隔振支架的电磁作动器的效率降低。

2.2.3 50~500Hz 频率振动下的隔振效果

激振器设置为竖直方向, 激振力输出为 100N, 在 50~500Hz 频率范围扫频测试, 隔振性能测试结果如图 9 所示。

3 结语

通过对智能主动型隔振支架的设计和性能试验研究, 可以得出结论: 隔振支架不但满足核电厂支架的抗震功能要求, 同时也能够有效切断管道振动能量的传

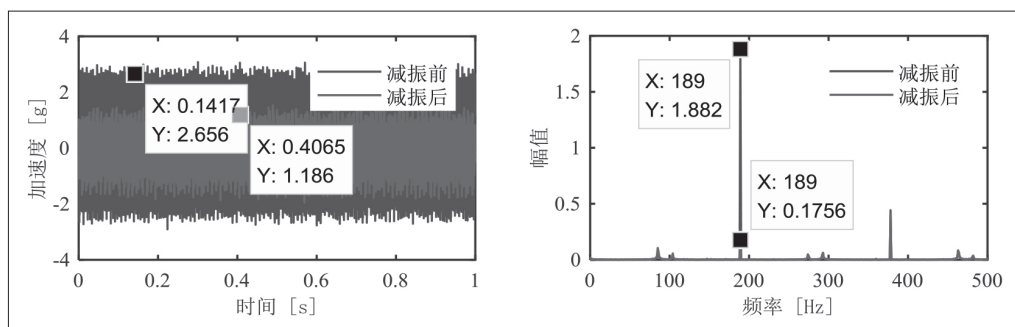


图 7 189Hz 激励下时域曲线和频域线谱隔振效果

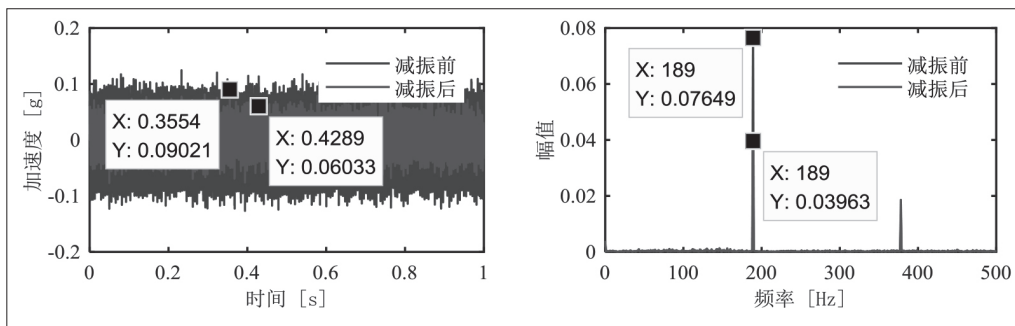


图 8 0.1 振动加速度下时域曲线和频域线谱隔振效果

(下转第 23 页)

CFX 软件对其进行了流场数值模拟,采用瞬态分析方法,探讨了转速差对离心机分离过程和速度场的影响规律。结果表明:

(1) 转速差对固相颗粒的沉降过程影响很小,但转速差对卸料过程影响显著,一方面,如果转速差过小会造成固相颗粒在转鼓柱段和锥段交界处堆积,降低了离心机分离效率;另一方面,转速差过大会缩短固相颗粒在锥段的脱水时间,造成沉渣含湿量高,降低分离效率。

(2) 转速差的增大使液相的周向速度和轴向速度均略有减小,但影响很小。因此,在理论研究中可以将螺旋叶片对离心机转鼓流场的影响简化为为流体提供了螺旋形状的流动通道。

参考文献:

[1] American A O D E. Shale Shakers and Drilling Fluid Systems: Techniques and Technology for Improving Solids Control Management[M]. Salt

Lake City: Godin Lyttle press, 2008.

[2] Fernández X R, Nirschl H. Multiphase CFD Simulation of a Solid Bowl Centrifuge[J]. Chemical Engineering & Technology, 2009,32(5):719-725.

[3] Fernández X R, Nirschl H. Simulation of Particles and Sediment Behaviour in Centrifugal Field by Coupling CFD and DEM[J]. Chemical Engineering Science, 2013,94:7-19.

[4] 刘洪斌,张艺豪,刘力,等.基于流固耦合的 LW350 离心机适应性分析[J].石油机械,2020,48(4):83-90.

[5] 徐倩,孟繁如,刘洪斌,等.钻井液离心机转鼓内流场的数值分析[J].石油机械,2009,37(8):24-27.

作者简介: 李一岚(1988.01-),女,汉族,四川达州人,博士,讲师,研究方向:钻井液固相控制、流体机械。

(上接第 19 页)

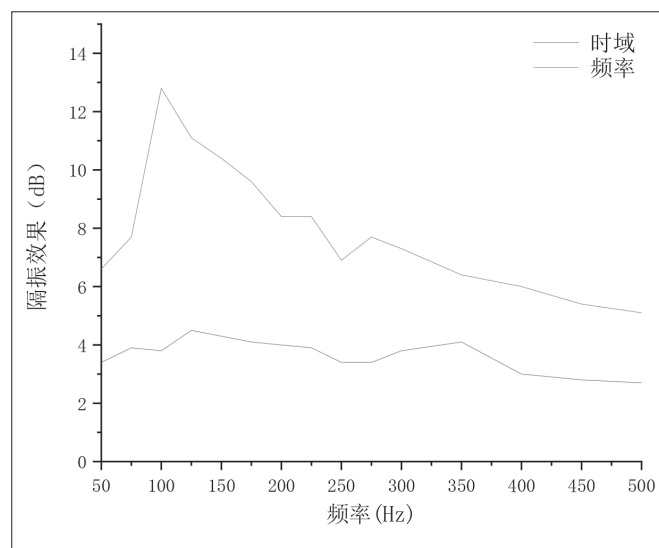


图 9 50~500Hz 频率时域曲线和频域线谱隔振效果递,避免管道振动传递到墙体,起到隔振功能。

对于 50~500Hz 频率的管道振动,智能主动型隔振支架都具有很好的隔振效果,振动频率适用范围很广。

但是智能主动型隔振支架也存在不足,对于低振幅的管道振动,隔振效果有较大幅度的降低。

参考文献:

[1] 田晓耕,陈儒.支架振动的主动控制研究[J].固体力学学报,1998,19(2):5.

[2] 张庆伟,俞翔,杨理华.反馈式多线谱主动隔振控制算法研究[J].中国舰船研究,2021,16(6):132-139.

[3] 刘锦春,何其伟,朱石坚,等.一种反馈式自适应振动控制方法研究[J].振动与冲击,2016,35(16):8.

[4] 王东升,周桐,李健.振动、冲击环境下支架减振器刚度优化设计[J].航天器环境工程,2006,23(2):86-89.

[5] 葛健全,唐乾刚,雷勇军.减振支架结构随机响应的灵敏度分析[C].首届全国航空航天领域中的力学问题学术研讨会,2004.

[6] 赵德全,孙明昌,王大伟.机械压力机低频隔振支撑改进方法与应用[J].锻造与冲压,2017(12):4.