

上海光源储存环磁铁支架隔振测试与分析*

卜令山^{1,2} 赵振堂¹ 殷立新¹ 刘桂民¹ 杜涵文¹

(¹ 中科院上海应用物理研究所 上海, 201800) (² 中科院研究生院 北京, 100049)

摘要 利用隔振原理, 为磁铁支架设计了一种使用弹簧阻尼隔振器的隔振支撑方案, 并在支架样机上进行了测试。测试结果显示, 与刚性支撑方案对比, 该支撑方式能有效地隔离垂向7 Hz以上, 径向4 Hz以上的地面振动。由于低频的地面振动被放大, 所以1~100 Hz总的振动幅度没有减小。因此, 此支撑方案在实用前需要进一步研究采用主动控制的方法抑止低频振动放大。

关键词 储存环 磁铁 支架 隔振 振动测量 分析
中图分类号 TL503.1 TB535+.1

引言

目前正在建的上海同步辐射装置(简称上海光源)是一台高性能的第3代同步辐射光源。它由150 MeV直线加速器, 全能量增强器和3.5 GeV储存环等3个加速器组成。

为了实现上海光源的微米乃至亚微米级束流稳定性要求, 储存环磁铁支架需要具有较好的抗振性能, 即在环境振动激励下支架的振幅要小。

为了提高支架的抗振性, 国外部分第3代光源如APS, ESRF, BESSYII和澳大利亚光源等, 采用了刚性支撑附加阻尼垫或剪切型阻尼器的方法^[1-4]。这种被动阻尼减振的方式可以起到降低支架共振放大的作用^[5]。目前研究的下一代加速器的支架结构采用了柔性隔振阻尼支撑的形式^[6], 可以有效地隔离环境振动并降低共振幅值。在此基础上, 配合使用主动振动控制的方法, 可以实现完全隔离环境振动。

在上海光源的支架设计中, 提出了多种振动控制方案, 并进行了一系列测试^[7]。笔者描述了一种弹簧阻尼隔振器的试验支撑方案, 对其在支架样机上进行了隔振性能测试, 并与刚性支撑方式进行了分析对比。

1 环境振动激励频响测试

在加速器的运行环境中, 大部分环境振动是以

地面振动的形式传递到支架的。因此, 采用以地面振动为激励, 测试磁铁振动的响应方式评价支架的隔振性能。

在附近没有明显振源的情况下, 地面振动的成分主要以地脉动为主, 地脉动的幅值随频率增加而衰减。100 Hz以上的地面振动幅值很小, 对束流稳定性的影响可以忽略, 因此主要测试100 Hz以内的地面振动。

1.1 测试方案

测试系统由941B型拾振器, DH5920数据采集系统等设备组成。

具体测试内容及测点布置如图1所示。测点1: 支撑点附近地面3个方向(即垂向、径向及纵向)的振动测量。其具体定义为: 沿束流方向为纵向; 在垂直于束流的平面中, 竖直方向为垂向, 水平方向为径向。测点2: 支架板面3个方向的振动测量。测点3: 磁铁顶部3个方向的振动测量。共布置9只拾振器测量各测点不同分量的速度信号, 测试前对所有仪器进行了统一标定。

1.2 数据处理

从数据采集软件导出原始数据, 图2是磁铁顶部测点3的一段数据曲线。对其进行功率谱密度分析^[8]和频响函数分析, 并计算其均方根位移值。

(1) 功率谱密度和频响分析

采用加窗分段平均周期图方法, 即Welch方法,

* 国家重大科学工程上海光源项目资助课题。
收稿日期: 2007-03-05; 修改稿收到日期: 2007-04-26。

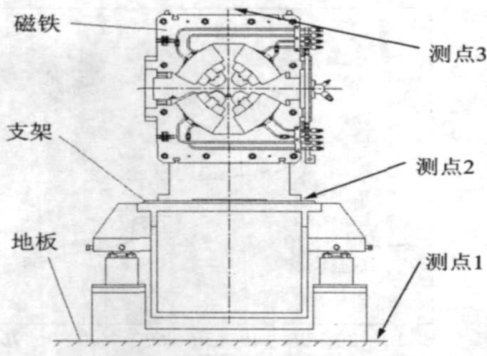


图1 测点布置示意图

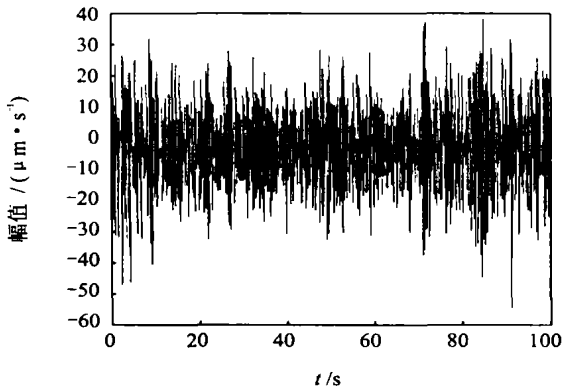


图2 测点3 横向的一段时间历程曲线

计算数据的功率谱密度函数^[9];采用H1估计法计算频响函数^[10]。

(2) 均方根位移值

f_1 到 f_2 频率范围内,均方根位移的计算公式为

$$X_{rms}(f_1, f_2) = \frac{1}{N \Delta t} \int_{f_1}^{f_2} G(f) \quad (1)$$

其中: $G(f)$ 是位移功率谱密度函数; N 是FFT分析点数; Δt 是采样时间间隔。

2 测试结果

2.1 隔振效果测试

由于垂向的束斑尺寸比径向小的多,垂向振动对束流稳定性影响最大,因此重点分析垂向隔振情况。纵向振动对束流稳定性影响较小,在此不予分析。

2.1.1 垂向

图3是频率在1~100 Hz,地面、支架面板和磁铁顶部垂向的功率谱密度曲线。图4是磁铁与地面垂向振动之间的频响函数曲线。3个测点的功率谱

密度曲线变化趋势类似,支架与磁铁的振动差别较小。在1~7 Hz范围内,地面振动被放大,放大峰平缓,大于7 Hz的振动被衰减。频响函数在5 Hz达到峰值4,其幅值在5~40 Hz范围呈现出随频率增加而降低的特点。

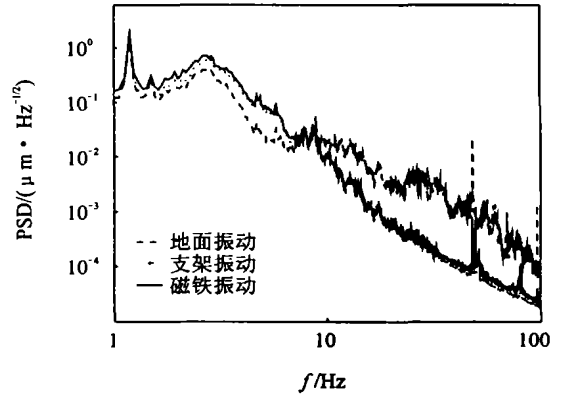


图3 垂向各测点的功率谱密度曲线

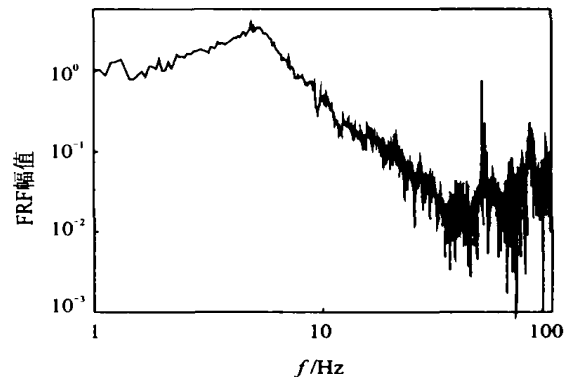


图4 垂向磁铁与地面间的频响函数曲线

2.1.2 径向

图5和图6分别是3个测点径向的功率谱密度

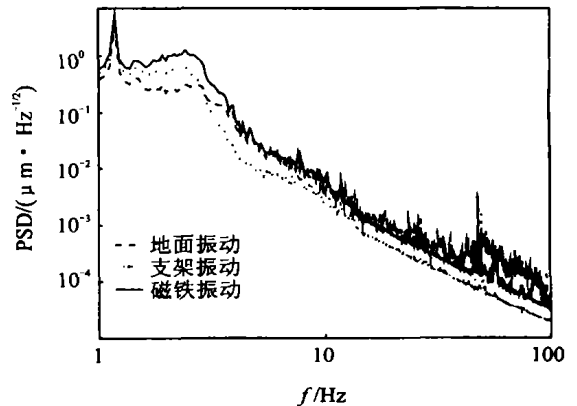


图5 径向各测点的功率谱密度曲线

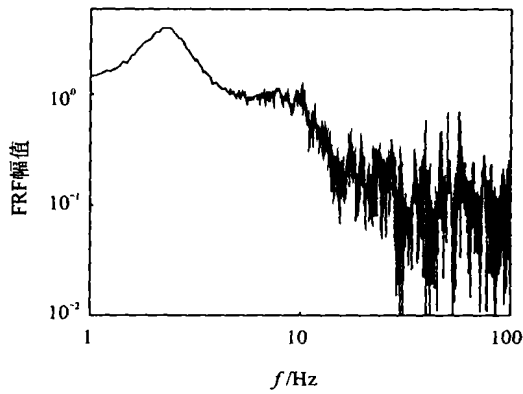


图6 径向磁铁与地面间的频响函数曲线

曲线和磁铁与地面径向振动之间的频响函数曲线。与地面振动相比, 支架振动在1~3 Hz 放大, 3 Hz 以上振动被衰减。与垂向不同, 磁铁振动与支架振动幅值有较大区别, 磁铁相对与地面在3 Hz 以上的振动衰减不明显。磁铁与地面的频响函数在2 Hz 左右达到最大值2, 大于2 Hz 范围, 幅值随频率增加而降低, 但降幅较缓。

2.2 隔振前后比较

将安装柔性隔振支撑后的测试结果与利用刚性支撑方式测得的结果进行比较, 以评价隔振效果。

2.2.1 垂向

从图7所示的频响函数曲线可以看出, 隔振前, 在10~90 Hz 频率范围内, 频响函数曲线有一系列明显的峰值, 这显示这一范围的地面振动被放大。而隔振后, 只在1~7 Hz 范围内有一个峰值, 7 Hz 以上的振动被明显衰减。同时, 隔振前后, 共振处频响函数幅值变化不大。

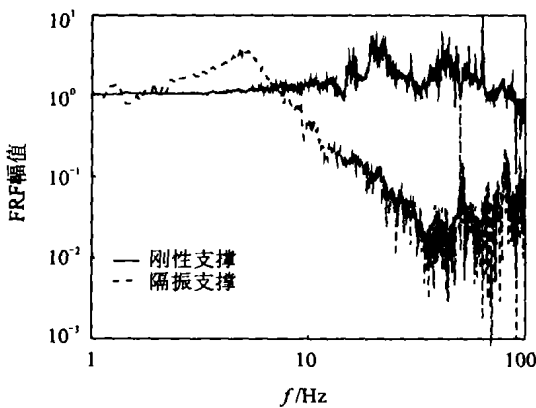


图7 垂向隔振前后频响函数曲线

图8是磁铁顶部的均方根位移曲线。在7~63 Hz范围内, 采用隔振支撑后磁铁的均方根位移小

于刚性支撑情况。在更高频率范围内, 两者相差较小。由于地面振动在低频时幅值较大, 而在低频范围, 隔振支撑放大了地面振动, 所以1~100 Hz 总的均方根位移, 隔振支撑大于刚性支撑。

2.2.2 径向

与刚性支撑相比, 采用隔振支撑的频响峰值频率从18 Hz 左右降到2.5 Hz 左右, 峰值从60 降到6, 如图9所示。这说明弹簧支撑降低了支架的共振频率, 有效隔离了4 Hz 以上的地面振动, 阻尼器则大大降低了共振放大倍数。

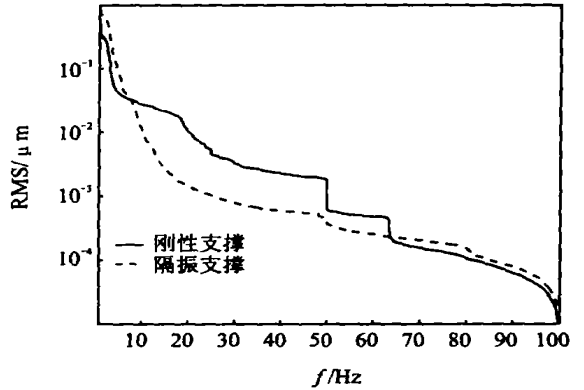


图8 垂向隔振前后均方根位移曲线

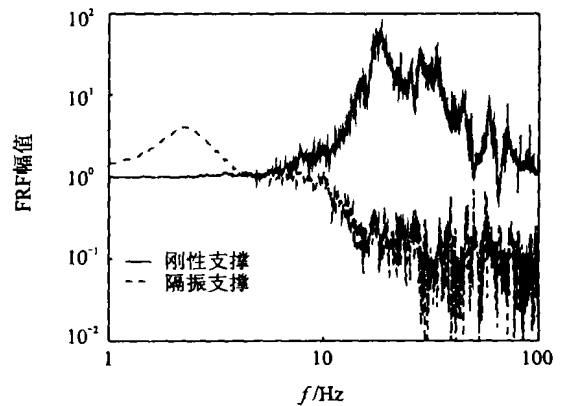


图9 径向隔振前后频响函数曲线

图10是均方根位移曲线。与垂向情况相同, 由于隔振支撑放大了低频的地面振动, 总的均方根位移没有减小。

3 结论

测试分析结果显示, 与刚性支撑相比, 采用柔性隔振支撑, 垂向7 Hz 水平径向4 Hz 以上的地面振动被有效隔离并衰减。同时, 支架的共振放大倍数在阻尼器的作用下被降低。但由于地面振动在低频时幅

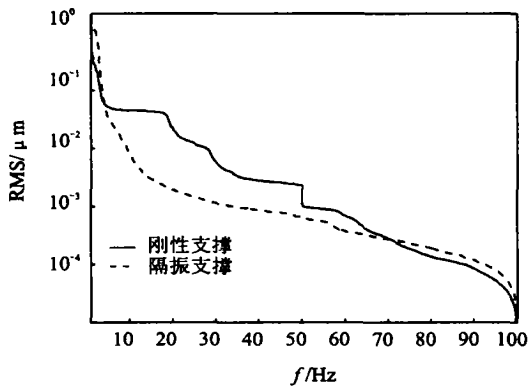


图10 径向隔振前后均方根位移曲线

值较大, 支架采用隔振支撑时放大了低频地面振动, 1~100 Hz 的均方根位移值并没有得到降低。

此方案可以有效隔离中高频的振动, 能用于水泵, 风机等振源的隔振。但是, 由于束流对1~100 Hz 范围的振动均很敏感, 所以在将其作为磁铁支架支撑之前, 应该进一步研究采取主动振动控制的方式, 抑制其低频放大以完全隔离1~100 Hz 的振动。

致谢: 隔而固公司上海办事处黄俊飞经理为本次试验提供了隔振器, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Mangra D, Sharma S, Jendrzejczyk J. Passive vibration damping of the APS machine components[C] Proceedings of the 1997 Particle Accelerator Conference, IEEE, Vancouver: [s. n.], 1998.
- [2] McKinlay J, Barg B. Performance of the Australian synchrotron storage ring alignment system[EB/OL]. [2006-05-25]. <http://medsi2006.spring8.or.jp/proc/75.pdf>.

- [3] Jorg Feikes. Measurements of ground and girder vibrations at BESSYII[C] Proceedings of the 1998 Europe Particle Accelerator Conference. Stockholm, Sweden: [s. n.], 1998.
- [4] Zhang L. Vibration damping device development for the ESRF storage ring magnet girder assembly[C] Proceedings of 22nd Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop on Ground Motion in Future Accelerators. Stanford: [s. n.], 2000.
- [5] 方同, 薛璞. 振动理论及应用[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1998: 303-304.
- [6] Sugahara R, Masuzawa M, Yamaoka H. Performance of an active vibration isolation system[C] Proceedings of the 8th International Workshop on Accelerator Alignment. Geneva, Switzerland: [s. n.], 2004.
- [7] Wang X, Bu L, Yan Z, et al. Dynamic test of SSRF storage ring girder magnet assembly [EB/OL]. [2006-05-25]. <http://medsi2006.spring8.or.jp/proc/18.pdf>
- [8] 严普强, 乔陶鹏, 邓焱, 等. 动态测试信号处理中时—频域变换算法的讨论[J]. 振动、测试与诊断, 2003, 6(2): 120-124.
- [9] 飞思科技产品研发中心. MATLAB7 辅助信号处理技术与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 306-308.
- [10] 李德葆, 陆秋海. 工程振动试验分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 266-267.



第一作者简介: 卜令山 男, 1980年8月生, 博士研究生。现主要从事振动控制方面的研究工作。曾发表“一种新型桥梁伸缩装置的应力分析与试验”(《铁路机械与施工机械化》2004年第12期)等论文

E-mail: bulingshan@sinap.ac.cn

通讯作者 E-mail: zhaozt@ssrc.ac.cn

Dynamic Test of Curved Continuous Rigid Frame Bridge Model Using Hammer Excitation Method

Zhou Yongjun He Shuanhai Song Yifan Zhao Xiaoxing Yang Yun

(¹Key Laboratory for Bridge and Tunnel of Shaanxi Province, Chang'an University Xi'an, 710064, China)

(²Research Institute of Highway, Ministry of Communication Beijing, 100088, China)

Abstract In this paper the modal test using hammer excitation method was carried out for an indoor curved continuous rigid frame model. Some key techniques was discussed and optimal sensor placement was presented. Simultaneously, space finite element model was set up to calculate the theoretical modals, the results of which were compared with the experiments ones. They had an error of no more than 8%. It showed that the modal test using hammer excitation method was successful. The method presented can give reference to the similar spatial structure's modal test.

Keywords bridge engineering continuous rigid frame hammer exciting method modal test

Modal Testing Method for Frequency-Intensive Structures

Wang Zhuo Yan Weiming He H aoxiang Yu Ruifang

(Beijing Laboratory of Earthquake Engineering and Structural Retrofit, Beijing

University of Technology Beijing, 100022, China)

Abstract Based on the free response of structures, the algorithm for the optimal position of the single-point impulsive exciting is presented. The physical meaning of the position optimization is intensifying the participation of the identified mode and inhibiting the participation of its adjacent modes. The ITD modal testing method based on the position optimization of the single-point impulsive excitation is presented, and its block diagram is established. A numerical example shows that the method is effectively and has high engineering value. It can identify the parameters for frequency-intensive structures. The exciting situation is easily realized in the practical engineering.

Keywords intensive frequencies modal testing exciting position optimization ITD method

Vibration Isolation Study on SSRF Storage Ring Magnet Support

Bu Lingshan^{1,2} Zhao Zhentang¹ Yin Lixin¹ Liu Guimin¹ Du Hanwen¹

(¹Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences Shanghai, 201800, China)

(²Graduate School of the Chinese Academy of Sciences Beijing, 100089, China)

Abstract A vibration isolation support system using spring-damper isolators were designed. Its performance was measured on the magnet support prototype. The test results show that compared with stiff support system, this one can effectively isolate the ground motion over 7Hz (vertical) and 4Hz (lateral). Because the ground motion in low frequency range is amplified, the total vibration in 1-100Hz was not attenuated. This implies further active vibration control system should be used to control the amplification in low frequency before the system could be practically used.

Keywords storage ring magnets supports vibration isolation vibration measurement analysis