

一种真空条件下监测参试品振动加速度的方法

段炯, 高博, 赛建刚, 王亚军, 高斌

(中国科学院 西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119)

摘要: 空间真空环境模拟主要是模拟太空的真空环境、外热流环境以及冷黑环境。为了评估真空系统工作时产生的振动环境对航天相机等参试品的影响, 提出了一种能在真空条件下测试振动加速度的新方法。在进行真空模拟实验时, 实时监测参试品的振动加速度, 为参试品真空环境下性能指标测试的不确定度分析, 提供数据支持。

关键词: 真空设备;真空条件;振动加速度

A method and vacuum equipment for monitoring vibration acceleration of test object under vacuum condition

Duan Jiong, Gao Bo, Sai Jiangan, Wang Yajun, Gao Bin

(Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, CAS, Xi'an, Shaanxi 710119, China)

Abstract: The space vacuum environment simulation mainly simulates the space vacuum environment, external heat flow environment and cold black environment. In order to evaluate the influence of the whole vacuum system on the vibration of the test object, a new method for measuring the vibration acceleration under vacuum conditions was proposed. To solve the problem that the influence of vibration caused by the vacuum system operation on the test sample is not considered in the existing vacuum simulation. The vibration acceleration of the test object is monitored in real time to provide data support for error analysis in the subsequent work process of the test object.

Keywords: vacuum equipment; vacuum condition; vibration acceleration

1 前言

为了解决航天相机等参试品在进行真空模拟试验时, 真空系统工作带来的振动环境影响参试品测试的技术问题, 提供了一种真空条件下监测参试品振动加速度的方法。

2 背景技术

真空条件:空间人真空环境模拟主要是模拟太空的真空环境、外热流环境以及冷黑环境。模拟设备直径大于 2m 的称为空间模拟器,用于整星或大型分系统的热真空试验,直径小于 2m 的称为热真空环境模拟设备,用于卫星组件、元器件及材料试验。

真空环境模拟:卫星等航天器的在轨高度不同,所处环境的真空度也不同;距离地面 100km,真空度为 $4 \times 10^{-2} \text{Pa}$;当距离地面 300km,真空度为 $4 \times 10^{-5} \text{Pa}$;距离 3000km 时,真空度就达到了 $4 \times 10^{-11} \text{Pa}$ 。因此航天器运行的真空度范围一般在 $10^{-4} \sim 10^{-12} \text{Pa}$ 。航天器及其系统需要在对应条件下进行大量的热真空试验与热平衡试验。模拟室一般用 10^{-3}Pa 来模拟空间的真空环境。

真空抽气系统:真空抽气系统一般由螺杆泵、分子泵、低温泵、电磁阀、及压力传感器组成。在真空抽气和真空保持阶段,由真空抽气系统工作带来的振动,可能会影响到真空箱体中参试品的正常工作。

3 实现方法

采用一种真空条件下监测参试品振动加速度的真空设备,包括真空箱体、加速度计、数据采集模块、抽真空装置及数据处理计算机^[1]。

加速度计安装在真空箱体内的参试品上,采集参试品的振动加速度,并将采集的电信号传输给数据采集模块,数据采集模块将电信号转化为数字信号,并传输给数据处理计算机;抽真空装置与真空箱体连接,对真空箱体进行抽真空处理,使真空箱体内可呈现不同的真空度。

加速度计和数据采集模块通过数据线连接;数据线和真空箱体通多密封转接法兰连接,数据线包括第一连接线和第二连接线;第一连接线的一端与加速度计连接,另一端与转接法兰位于真空箱体内的端面上内数据线接口连接;第二连接线的一端与数据采集模块连接,另一端与转接法兰位于真空箱体外的端面上数据线接口连接;内数据线接口和外数据线接口相连通。加速度计粘贴在待参试品上关键位置。结构示意图见图 1 及表 1。

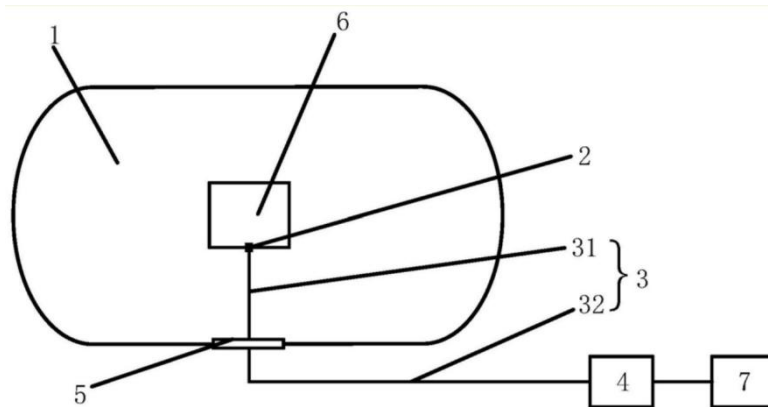


图 1 结构示意图

表 1 主要设备

序号	设备名称
1	真空箱体
2	加速度计
3	数据线
4	数据采集模块
5	转接法兰
6	待参试品
7	数据处理计算机

4 应用实例

4.1 测试目的

通过测试 KM3 真空试验系统实际试验时载物导轨上的振动加速度，评估试验过程中参试品所处的力学环境对光学测试的影响。

4.2 测试方案

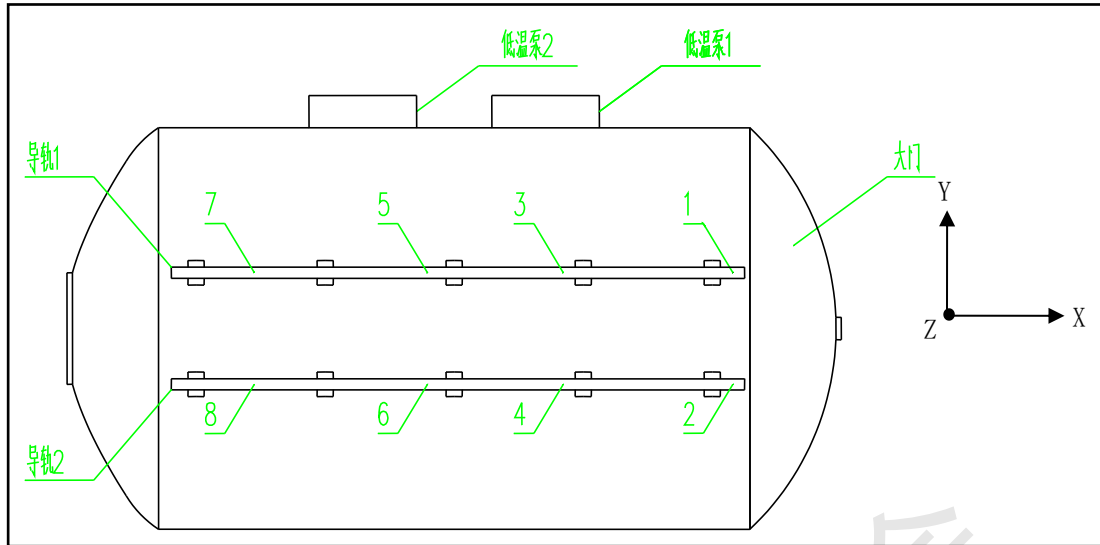


图 2 KM3 真空试验系统罐体及载物导轨示意图(俯视图)

如图 2 所示，KM3 真空试验系统有两根相互平行的载物导轨，分别通过 5 个支撑柱与真空罐罐体相连，罐体外部及两台安装在罐体上的低温泵抽气产生的振动通过支撑柱传递至载物导轨，继而传递到载物导轨承载的参试品上。

开启 KM3 真空试验系统两台低温泵，将灵敏度为 1000mV/g 的三轴向加速度计依次安装在载物导轨上的 8 个位置点(图 1 中的 1~8)，每个点微小振动的测试按照下列步骤进行：

- 1)采用高通滤波的方式采集两组加速度时域数据，每组数据时长 30s；
- 2)不加任何滤波器，采集两组加速度频域数据，每组数据由 10 个数据块进行线性平均；
- 3)从加速度时域数据中读取加速度最大值(max)，并计算加速度均方根值(RMS)；
- 4)从加速度频域数据中读取加速度幅值较大的频点的频率。

4.3 测试结果

KM3 真空试验系统载物导轨上 8 个位置点微小振动的测试结果见表 2。

表 2 KM3 真空试验系统载物导轨微小振动的测试结果

测点	加速度(mg)		主要频率(Hz)
	Max	RMS	
1_X	49.2/52.2	10.8/10.8	195、304
1_Y	23.7/25.3	4.3/4.3	199、304
1_Z	63.7/60.9	15.1/15.1	185、188、195、199
2_X	44.2/40.2	11.5/11.1	199、296
2_Y	17.0/17.1	3.8/3.7	199、296

2_Z	48.0/46.6	10.7/10.6	189、199、232、397
3_X	32.7/33.5	7.0/7.0	195、234、462
3_Y	14.4/13.4	2.5/2.4	195、234
3_Z	34.3/36.5	6.8/6.9	195、199、234、395
4_X	30.5/29.4	5.9/5.9	195、199、253、467
4_Y	15.2/16.2	2.3/2.3	55、195、199、253、467
4_Z	25.0/26.4	5.4/5.4	195、199
5_X	40.2/40.8	8.5/8.6	195、234、264、467
5_Y	19.0/18.6	3.4/3.4	195、234、264、462、467
5_Z	30.6/27.7	6.0/6.1	195、199
6_X	25.0/26.9	4.8/4.8	195、199、234、241、627
6_Y	15.9/13.8	2.1/2.1	55、195、199、253、467、627
6_Z	26.2/25.9	6.0/5.9	195、199、234、241
7_X	34.3/33.0	6.1/6.1	132、193、264、467
7_Y	13.6/13.2	2.2/2.2	58、132、193、395、462
7_Z	28.0/27.2	5.8/5.7	189、199、234、246、395
8_X	18.3/19.8	3.7/3.7	189、195、199
8_Y	12.7/11.5	2.0/1.9	55、195、462
8_Z	26.0/27.7	5.8/5.8	199、234、241

对表 2 中数据进行分析可以得到以下结论：

1)靠近低温泵一侧的 1、3、5、7 号测点加速度幅值明显高于远离低温泵一侧的 2、4、6、8 号测点，导轨微小振动来源主要是低温泵抽气。

2)端部 1、2 号测点 Z 轴向加速度幅值最大，主要原因是端部导轨外侧没有支撑柱约束，在 190Hz 附近存在多阶模态耦合放大，在进行真空试验时参试品的安装最好避开该段导轨及尾部段导轨或采取一定的减振措施。

5 结论

本测试方法能在不同真空条件下测试参试品振动加速度，对进行真空试验的航天相机等参试品产生的振动加速度进行实时监测，可分析真空试验中由于真空系统工作时所带来的振动影响，对后续试验过程中参试品测试的不确定度分析提供数据支持。

参考文献:

- [1] 段九君. 中国真空设备的发展现状浅析[J]. 中小企业管理与科技.2010(28):162.
DOI:10.3969/j.issn.1673-1069.2010.28.154.
- [2] 真空环境模拟装备[J]. 军民两用技术与产品,2015,0(7):42-43.
- [3] 李根. 集成式制氮抽真空设备的设计[J]. 上海化工 .2022,47(2):50-53.
DOI:10.3969/j.issn.1004-017X.2022.02.024.
- [4] 中国科学院西安光学精密机械研究所. 一种真空条件下监测参试品振动加速度的真空设备:CN202021349590.6[P]. 2021-03-19.
- [5] 王剑,王璋奇. 振动加速度数值积分的 Lagrange 多项式拟合方法[J]. 噪声与振动控制,2015,35(6):191-196,210. DOI:10.3969/j.issn.1006-1335.2015.06.041.