

# 大型振动试验的辅助支撑系统设计

弋东明

(陕西动力机械设计研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 给出了解决大型振动试验中静支撑和稳定性问题的方法及悬挂辅助支撑系统的设计过程和使用范围。

**关键词:** 振动试验; 橡胶绳; 辅助支撑

中图分类号: V417.4

文献标识码: A

文章编号: (2005)01-0052-03

## Design of auxiliary support system for large sample vibration test

Yi Dongming

(Shaanxi Power Machine Design & Research Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** The solving method of shaker static load support and stability problems in large sample vibration test was presented in this paper. The design process and applied range of suspension auxiliary support system were also introduced.

**Key words:** vibration test; rubber cord; auxiliary support

### 1 引言

液体火箭发动机研制过程中, 为了验证在振动环境下结构形式的合理性和可靠性, 需要进行整机模拟振动环境试验。由于振动试验的需要, 除振动台、控制系统和测量设备外, 还需要一些辅助设备。

### 2 针对的主要问题

#### 2.1 试验件的静支撑问题

振动试验时试验件通过夹具与振动台对接, 因此全部质量由振动台动圈支撑。动圈是振动台的运动部件, 仅依靠 U 型弹簧和导向装置定于环形工作气隙当中。试验件安装后动圈会偏离其原有的平衡位置, 通常情况下, 动圈可依靠振动台气浮装置充气恢复到原状态, 而当试验件及夹具

收稿日期: 2004-02-23; 修回日期: 2004-03-11。

作者简介: 弋东明 (1951—), 男, 高级工程师, 研究领域为火箭发动机结构强度分析与力学环境试验方法。

的总质量超过其额定支撑能力时, 动圈失去平衡, 振动台将无法工作。1985 年美国 LING 公司 D300 型振动台气浮支撑能力为 280kg, 某型号整机加注模拟介质后的质量与试验夹具的质量总和为 342kg, 因此仅依靠振动台的气浮装置无法满足支撑要求, 必须使用外部附加支撑系统, 来补偿因试件和夹具质量过大而引起的动圈下沉。

## 2.2 试验稳定问题

某型号整机试件外形尺寸直径 1500mm, 试验件与夹具对接后总体重心高出振动台台面 1700mm, 由于试验件与夹具对接后总体重心偏高, 激励时会产生摇摆晃动和扭动, 由此产生的倾覆力矩或扭矩会影响到试验的正常进行, 严重时会导致振动台破坏。

# 3 弹性悬挂系统设计

## 3.1 基本方法

静支撑的问题是由试件和夹具的质量过大引起的, 超重部分只能寻找振动系统之外的辅助支撑手段承担。这时就需要用到外部支撑装置。据有关资料介绍这种外部支撑装置是采用压缩空气充气的橡胶支撑, 其原理是将充气弹簧作为弹性元件安装在振动台体与试验定位装置之间 (见图 1), 用来补偿因试件和夹具而引起的动圈下沉, 同时又必须使附加支撑对振动试验影响尽可能的小。

这种气体支撑连接需要有外部支撑基座, 气源结构较复杂, 并且为了使其在试验激励频率下保持动态平衡, 不与任何试验频率相耦合, 要求系统的自然频率低于试验下限频率。对于如此复杂的系统, 短期内无法解决。为满足型号研制进度的需要, 必须寻找其它途径解决。

根据上述外部支撑装置的原理能否采用反向支撑, 即简单弹性垂直悬挂的方法达到支撑的目的是最初的想法 (见图 2)。

## 3.2 初步设计

开始时通过计算选用一定数量多根普通橡皮筋并联组合成一组悬挂索 (见图 3) 进行测试, 其自振频率接近于试验频率的下限, 于是在某型号整机试验时第一次试用, 情况基本上能满足试验

要求。

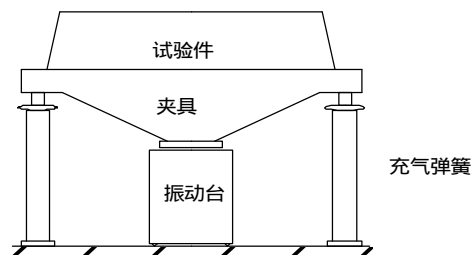


图 1 充气弹簧外部支撑

Fig.1 External support of inflatable spring

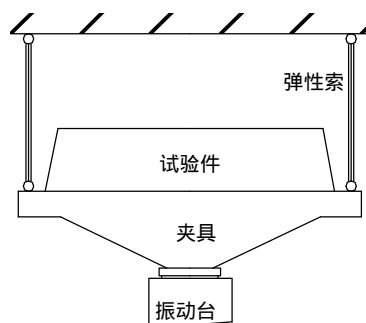


图 2 弹性垂直悬挂

Fig.2 Elastic vertical suspension



图 3 弹性悬挂索

Fig.3 Elastic suspension cord

由于每组橡皮筋组装时长短不易控制, 每根橡皮筋受力不均匀, 而且由于橡胶老化很快, 刚

度也在不断变化,使用前需要重新测试。在第一次试验试用结果基础上又进行改进设计,通过调研找到了一种由多股细橡胶筋编织成的橡皮绳(缓冲绳)代替原普通橡皮筋。经过多次测试发现橡皮绳在受外力拉伸时,开始位移与外力之比为一常数;当外力超过某一限制时,即橡皮绳伸长到一定长度时,位移与外力之比是另一常数,即有两个刚度区,开始时是大刚度区,以后是小刚度区,而小刚度区橡皮绳的自振频率比大刚度区橡胶绳的自振频率更小。为了减小附加支撑对振动试验的影响,增加附加支撑后试件—动圈—支撑系统的最低自振频率应小于试验频率的下限频率。因此用橡皮绳的小刚度区效果更好。橡皮绳的拉伸曲线可用砝码测试获得,根据试件和夹具质量计算出所需橡皮绳的根数,再设计安装橡皮绳的吊具。在吊具的设计中为了使同一组中每股橡胶绳受力均匀,采用动滑轮的方法进行设计,一组橡胶绳在外力作用时,每股橡胶绳的长度可通过滑轮自动调节。经过对组装好的橡胶绳测试获得其试件—动圈—支撑系统的最低自振频率为 2Hz,小于一般振动试验 5Hz 的下限频率,完全满足了试验要求。

### 3.3 改进设计及结果

试验稳定问题是由于重心偏高,并且上端自由状态而产生的,因此需要在试件与夹具重心位置以上增加必要的横向约束。同样利用橡胶绳在试件与夹具的对接面的四周横向进行固定,通过试验证明稳定性有了明显的改善(见图 4)。为了简化试验安装,去掉横向橡胶绳,将四组作轴向垂直悬挂的橡胶绳调整角度,使其作轴向支撑的同时,利用橡胶绳弹力的水平分量做为横向约束(见图 5),再进行试验结果证明,此方法可行。

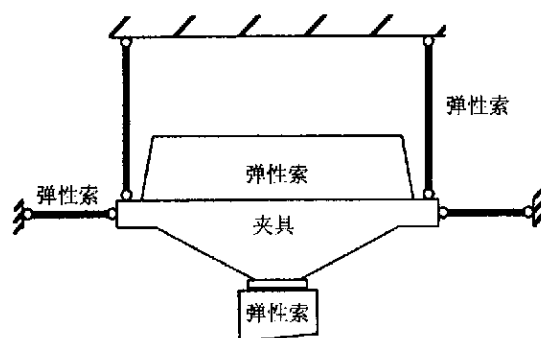


图 4 弹性垂直悬挂加横向约束

Fig.4 Elastic vertical suspension with transverse restriction

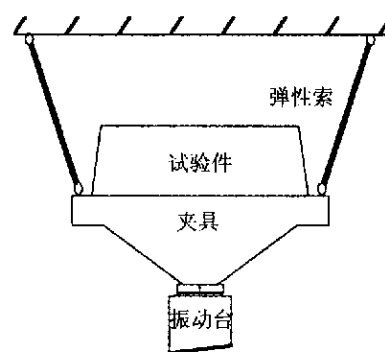


图 5 综合弹性悬挂

Fig.5 Integrated elastic suspension

## 4 结论

通过多次试验,充分验证了仅使用四组橡胶绳完全能够较好的同时解决上述两个问题。此种支撑方法合理、操作简单、经济实用。

悬挂支撑系统的设计不仅多次按时完成了整机振动试验,而且推广应用于其型号的整机振动试验中,并为解决今后其它大型振动试验的同类问题找到了一种行之有效的方法。

(编辑: 马杰)