

电动振动试验系统检定过程中的问题及解决办法

吕新超, 孙浩琳, 王 振, 韩少志

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘 要 新的《JJG948-2018 电动振动试验系统检定规程》已实施近5年, 本文将简述这5年振动台计量工作中出现的一些问题与解决办法。如: 开环问题是进行电动振动试验系统计量的最常见问题, 多为反馈端无反馈、输出端无输出可以分别确认反馈端与输出端的系统是否故障来解决大部分开环问题; 由于系统噪声过大、台面增加附加结构或台体结构出现问题则会导致加速度谐波失真度过大, 可以通过给系统配套更可靠的地线、拆除附加结构或者更换设备部件的方式解决问题; 试验系统加速度噪声过大、振动加速度幅值误差过大等, 旨在为广大的振动台计量检定人员提供参考。

关键词 电动振动试验系统; 计量检定; 频率

中图分类号: TM5

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)01-0016-03

电动振动试验系统主要是由振动台、功率放大器、振动控制器、加速度传感器、冷却装置等组成的一个闭环试验系统, 如图1所示^[1-2], 可以模拟试验产品所需的振动试验, 试验种类主要分为: 定频正弦试验、正弦扫频试验、随机试验、混合振动试验和小量级的冲击试验^[3]。随着国家经济的发展, 小到电子元器件, 大到整车都需要进行振动环境试验, 其目的是检验产品在振动环境中工作的可靠性, 估算产品寿命, 发现设计缺陷并找出改进方向等, 而电动振动试验系统的检定合格对模拟振动试验的准确性起着关键作用, 所以国家质量监督检验检疫总局发布了《JJG948-2018 电动振动试验系统检定规程》, 对系统的一些主要性能参数做出了要求, 如失真度、幅值误差等, 需要每年对系统进行计量。笔者在5年的计量工作中总结了一些计量检定过程中遇到的问题及解决办法, 以下将分别介绍, 希望能够为广大从事电动振动试验系统的计量检定人员提供一些参考。

1 试验系统开环

试验系统开环是计量检测过程中最常见的一类问题, 开环问题的出现会使振动台无法完成《JJG948-2018 电动振动试验系统检定规程》中要求的检定谱, 导致计量工作无法开展。因为电动振动试验系统是一个闭环系统, 其中任何一个部分出现问题都会导致开环问题的发生, 如果反馈端出现问题, 对于没有开环保护或自检的控制器开环的表现形式一般为振动台会突然

以超出所设计的额定参数振动, 可能造成功放或台体不可逆损坏, 如果是输出端开环会导致试验无法启动, 控制器控制界面自动停止并报错“开环”。出现开环问题, 我们需要逐个部分进行排查。

1.1 反馈端开环

反馈端一般包含: 加速度传感器、电荷放大器、控制器输入端^[4]。反馈端开环会导致控制系统接收不到设备的真实运行状态, 从而给功率放大器输出错误驱动电压参数, 导致功率放大器或振动台按超过其自身设计的参数振动, 对功率放大器的电路系统、振动台的结构造成不可逆的损坏, 造成不必要的经济损失。

反馈端开环常见的原因有:

1. 振动控制器输入通道设置中耦合方式错误。这种情况是最常见的反馈端开环原因, 由于常见的振动控制传感器有电压型和电荷型之分, 电压型传感器一般在输入通道设置中选用IEPE供电, 而电荷型传感器则需要配合电荷放大器使用, 振动控制器的输入端选择AC耦合, 如果所使用的振动控制器具有电荷模式, 则输入端选用电荷模式。

2. 控制传感器脱落或损坏。控制传感器一般是用胶水或者螺钉刚性的固定在台面上, 由于一些振动试验量级较大或者时间较长, 可能会导致胶水粘帖不牢或是螺钉松动, 从而造成传感器脱落。如果出现此类问题则需要重新粘帖或安装传感器。为以防万一, 最好在试验开始时检查传感器是否粘牢装好。传感器损

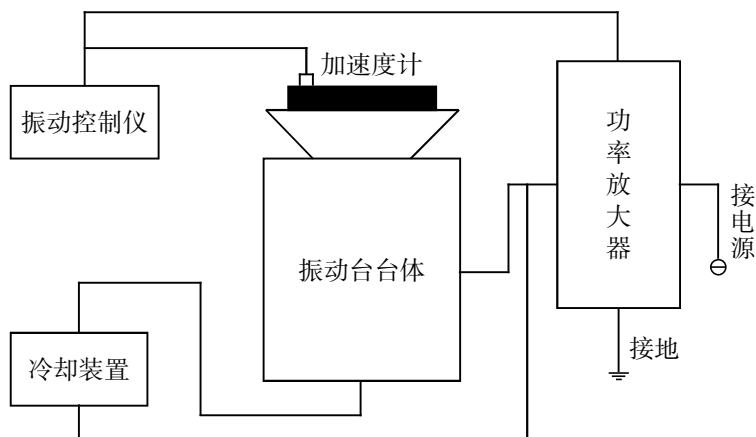


图 1 试验系统组成示意图

坏是较少出现的情况，如果排除其他问题，则可安装更换新的控制传感器。

3. 接线错误。这种情况也是较常见的反馈端开环原因，因为振动试验中往往需要粘贴至少一个控制传感器，当有多个传感器控制时难免造成接线混乱，出现连接错线的情况。出现这种情况需要耐心地缕好线，并且与控制器的输入端一一对应。

4. 电荷放大器设置错误或者故障。这种情况较为少见，出现开环问题可先检查电荷放大器的输入端与输出端是否接对，耦合方式是否选择正确。一般的放大器只具有给电荷传感器供电和放大输出的作用，较常见的如 B&K 公司的 2692，但也有少部分电荷放大器还具有给电压传感器供电的功能，如恩 Endevco 公司的 133。使用时要确保电荷放大器设置正确且设备完好。

1.2 输出端开环

输出端开环相对于输入端开环出现情况较少，常见的有如下几种情况：

1. 控制器故障或杂波干扰过大。作为输出信号的控制器可能由于使用不当导致输出板卡损坏，从而无法正常输出信号，如果排除反馈端问题后，系统开环问题仍未解决，可以采用控制器做自闭环的方法来排除是不是控制器自身的问题。如果使用环境中地线未接好可能导致控制器杂波干扰过大，进而导致控制信号淹没在杂波信号中，或者超出目标谱的停止线（一般控制器目标谱报警线为 $\pm 3\text{dB}$ ，停止线为 $\pm 6\text{dB}$ ，反馈信号超过目标谱停止线会判定为试验失败）这种情况也会导致控制器报开环故障，解决办法就是为控制器接好地线，或是适当增大控制器目标谱启动电压和上升电压，或者部分控制器可以调节超出信号百分比，增大允许范围。

2. 功放增益未打开或输出信号线断路。如果功放增益没有打开或者增益量级太小也会出现开环现象，解决办法是打开增益到适当量级，如不计量设备的极值，则一般功放增益设置为最大值的 80%。输出信号断路需更换新的信号线。另外，有些功放具有前端后端两个输入端，操作时需注意信号线接入端与设置是否一致。

3. 功放触发保护。这种情况较为常见，多是设备使用不当造成。常见的保护情况有：功放过热；激励电压或电流过大；振动台体或者功放温度过高；超过台体设计的最大位移、速度、加速度等。功放过热情况较为少见，如果出现可关机待功放冷却后再开始计量。激励电压或者电流过大一般出现在振动台极值试验时，如果出现这种情况且没有厂家专业人员在场不建议再继续试验。电动振动台分为风冷式与水冷式，二者都会出现台体温度过高的情况。风冷式出现的原因一般为设备长时间在高温状态下持续高负荷的工作或者鼓风机反转。解决办法为停止试验使系统冷却与更改鼓风机旋转方向。水冷式台体过热一般为内外循环水阀门未开或管道堵塞导致冷却水流量不足，解决办法是打开阀门清理管道和确保冷却水流量充足。一般来说振动台内部循环水温最高可以为 65°C ，冷却水温过高不会影响设备本身技术指标，可以对设备进行计量，水温一旦超过 65°C ，则功放会启动保护功能，无法启动，导致设备输出端开环。

4. 台体或功放故障。这种情况一般功放内部模块警报灯会闪烁，故障原因多种多样，在此不一一阐述。这种情况出现建议直接联系厂家售后人员，对损坏模块进行维修或更换。

开环问题是计量电动振动试验系统中最常见也是出现情况最多的问题，出现开环问题后要冷静思考，

用排除法逐一排查。一般的经验是优先对系统的随机功能进行检定,因为大多数控制器具有随机自检功能,如果系统存在开环,则可在自检中查出,降低设备损坏的风险。此外,排查故障过程中一定要关闭功放增益,避免检查系统线路时人体所带的静电通过输入线驱动功放,使功放和台体过载,毁坏,造成不必要的经济损失。

2 加速度谐波失真度过大

加速度谐波失真度是评价电动振动试验系统的重要指标,波形失真度表示实际的加速度波形相对于加速度基波波形的畸变程度。国内外均统一定义为各次谐波幅值的均方根值与基波幅值之比。即:

$$\gamma = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \times 100\%$$

式中 U_1 表示表示加速度波形的基波,二次谐波…… n 次谐波的幅值; γ 为波形失真度,规程要求检定电动振动试验系统的谐波数为 5 次谐波,规程给定的谐波失真度为评率小于 20Hz 时失真度应不大于 $\pm 25\%$,大于 20Hz 时,加速度谐波失真度应不大于 $\pm 10\%$ 。导致失真度过大的原因也多种多样,以下将列举几种常见的失真度过大的原因和解决办法。

1. 振动控制器存在较大噪声干扰。这种情况较为少见且影响较小,如果出现可将振动控制器接地。

2. 台面加装的隔热板或其他附加台面与台体动圈之间的冲击摩擦。如果出现这种情况解决办法是建议拆除隔热板或附加台面后重新计量。

3. 台体结构出现问题。振动台动圈出现裂纹或结构紧固螺栓出现松动(以风冷台为例)^[5]。一般上导轮松动或损坏会导致低频加速度谐波失真度过大,下导轮松动或损坏会导致振动台高频谐波加速度波失真度过大,出现这种情况需要停止计量,联系厂家售后人员。

3 试验系统加速度噪声过大

规程要求试验系统加速度噪声应 $\leq 5\text{m/s}^2$, 加速度噪声过大可能是控制器或功率放大器内部器件噪声过大导致,需要厂家人员解决。一般来说加速度噪声过大是功放、控制器接地不好导致,需要加深地线的深度,确保地线完好。如果有噪声信号过大的情况,也会导致某些试验控制器自检不合格,无法开启规程所规定的目标谱,解决办法是适当增大启动电压,使启动信号大过噪声信号。

4 振动加速度幅值示值误差过大

振动加速度幅值示值误差是评价系统是否合格的一个重要指标,直接影响系统振动试验的准确性。规

程规定振动加速度幅值示值误差应在 $\pm 10\%$ 以内,超出此范围则判定为不合格。以下是几种常见的导致幅值误差过大的原因和解决办法。

1. 控制加速度灵敏度设置有误。这种情况是最常见的导致幅值误差过大的原因。出现这种情况时,需要检查控制加速度传感器灵敏度是否与振动控制器输入端的灵敏度一致,如果是电荷传感器配合电荷放大器使用的反馈方式,也要检查电荷放大器的输入端灵敏度值与控制电荷传感器是否一致,输出端值与振动控制器输入端值设置是否一致。

2. 控制传感器绝缘垫片过厚或未刚性连接在台面上。这种情况一般会导致系统在高频时加速度示值误差过大。解决办法是可选用刚性更好的绝缘垫片或者改用薄片。要把控制传感器与动圈刚性连接,不要贴在台面的隔热板上(如果有隔热板建议拆除后重新计量)。

3. 控制传感器粘贴位置较差。这种情况同样会导致系统高频振动时加速度示值误差过大,建议控制传感器的安装位置为靠近台面中心处最内侧螺栓处,可以与螺栓连成一条直线,此处的动圈刚性最好,控制传感器高频反馈也较好。

以上就是本文对于计量电动振动试验系统中遇到的一些常见问题与解决办法的总结,电动振动试验系统在振动计量设备中是较为复杂的系统,结构越复杂出现的不正常状态也就越多,出现问题需要耐心地逐个排除,重视积累,熟悉后可解决大部分计量中出现的问题,希望通过本文的总结,为从事电动振动试验系统设备的计量人员提供一定的参考和帮助。

参考文献:

- [1] 王振,吕新超,韩少志. 电动振动试验系统检定规程的应用[J]. 传感器世界,2022,28(07):24-26.
- [2] 魏威,惠好鹏,陈欣,等. 对振动试验常见故障的分析及探讨[J]. 装备环境工程,2017,14(04):68-71.
- [3] 贾小冬. 浅谈数字式电动振动试验系统与振动环境试验[J]. 轻工标准与质量,2016(03):54,61.
- [4] 纪金豹,李文月,武剑峰. 振动台开环系统辨识与 LSTM 网络模拟[J]. 地震工程与工程振动,2022,42(03):87-94.
- [5] 侯瑞. 振动台动力学建模和夹具设计研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2007.