



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1270—2010

温度、湿度、振动综合环境 试验系统校准规范

Calibration Specification for Temperature/Humidity/Vibration
Combined Environmental Testing System

2010—12—30 发布

2011—04—01 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

温度、湿度、振动综合环境

试验系统校准规范

Calibration Specification for

Temperature/Humidity/Vibration Combined

Environmental Testing System

JJF 1270—2010

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2010 年 12 月 30 日批准，并自 2011 年 4 月 1 日起施行。

归口单位：全国振动冲击转速计量技术委员会

主要起草单位：中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所

北京中元环试机电设备技术有限公司

参加起草单位：重庆银河试验仪器有限公司

本规范由全国振动冲击转速计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

徐晓梅（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

曾 吾（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

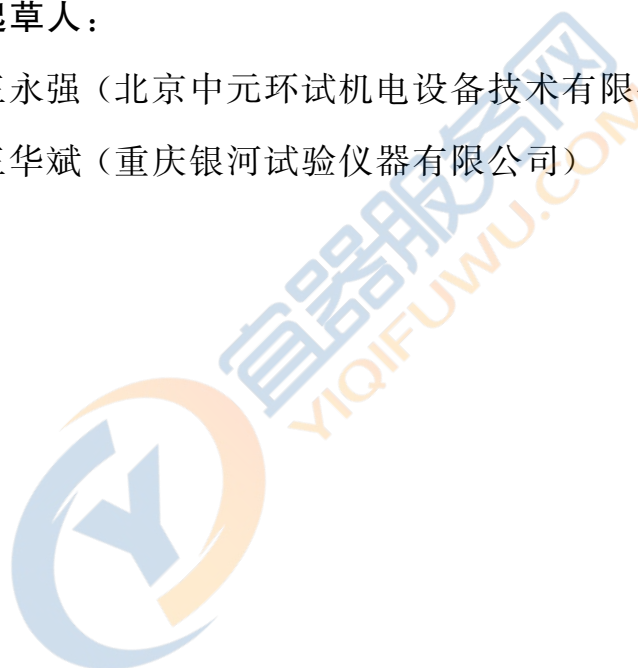
吴 方（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）

胡志强（北京中元环试机电设备技术有限公司）

参加起草人：

王永强（北京中元环试机电设备技术有限公司）

王华斌（重庆银河试验仪器有限公司）



目 录

1	范围	(1)
2	引用文献	(1)
3	术语	(1)
4	概述	(1)
5	计量特性	(2)
6	校准条件	(3)
6.1	试验箱的校准状态	(3)
6.2	振动试验设备的状态	(3)
6.3	校准时的环境条件	(3)
6.4	校准时的负载条件	(3)
6.5	校准用仪器要求	(3)
7	校准项目	(4)
8	校准方法	(5)
8.1	工作时平均噪声校准	(5)
8.2	试验箱温度偏差校准	(5)
8.3	试验箱温度波动度校准	(6)
8.4	试验箱温度均匀度校准	(6)
8.5	温度指示仪表示值误差校准	(6)
8.6	试验箱温度变化速率校准	(7)
8.7	试验箱内气流风速校准	(8)
8.8	试验箱相对湿度偏差校准	(9)
8.9	相对湿度指示仪表示值误差校准	(10)
8.10	试验箱最低露点温度校准	(10)
8.11	温度循环中, 振动加速度幅值示值误差校准	(10)
8.12	振动台附加台面加速度响应特性及台面加速度均匀度校准	(12)
8.13	振动控制通道一致性校准	(13)
9	校准结果表达	(13)
10	复校时间间隔	(14)
附录 A	校准证书内页格式	(15)

温度、湿度、振动综合环境 试验系统校准规范

1 范围

本规范适用于产品可靠性试验的温度、湿度、振动综合环境试验系统的校准，也适用于产品环境应力筛选和环境试验的温度、振动综合环境试验系统的校准。用于产品环境试验的温度试验箱、温湿度试验箱和快速温度变化试验箱也可参照本规范实施校准。

2 引用文献

- JJG 948—1999 数字式电动振动试验系统检定规程
JJG 1000—2005 电动水平振动试验台检定规程
JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示
JJF 1156—2006 振动、冲击、转速计量术语及定义
GB/T 2298—1991 机械振动与冲击术语
GB/T 5170.1—2008 电工电子产品环境试验设备检验方法 总则
GB/T 5170.2—2008 电工电子产品环境试验设备检验方法 温度试验设备
使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语

3.1 稳定状态 steady state

试验箱工作空间内所有测量点参数的变化量均达到试验箱自身性能指标要求时的状态。

3.2 指示仪表的示值误差 indicated value error of indicated meter

试验箱处于稳定工作状态下，在规定时间内，试验箱指示仪表示值的算术平均值与试验箱工作空间内全部测量点实测值的算术平均值之差。

3.3 温度变化速率 temperature variation rate

在规定的温度范围内，试验箱工作空间内某个规定点的温度单调上升（或下降）时，总的温度变化量与该过程所经历时间的比值。有三种不同定义的温度变化速率，即最大平均温度变化速率、全程平均温度变化速率和瞬态温度变化速率，用 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 表示。

3.4 加速度幅值示值误差 indicated value error of acceleration amplitude

控制加速度计的加速度示值与校准加速度计实测值之差。

4 概述

温度、湿度、振动（或温度、振动）综合环境试验系统（简称为综合环境试验系统）是由能产生温度和（或）湿度环境的温湿度（或温度）试验箱（简称为试验箱）和能产生振动环境的振动试验设备（简称为振动台）综合而成，参见图 1。

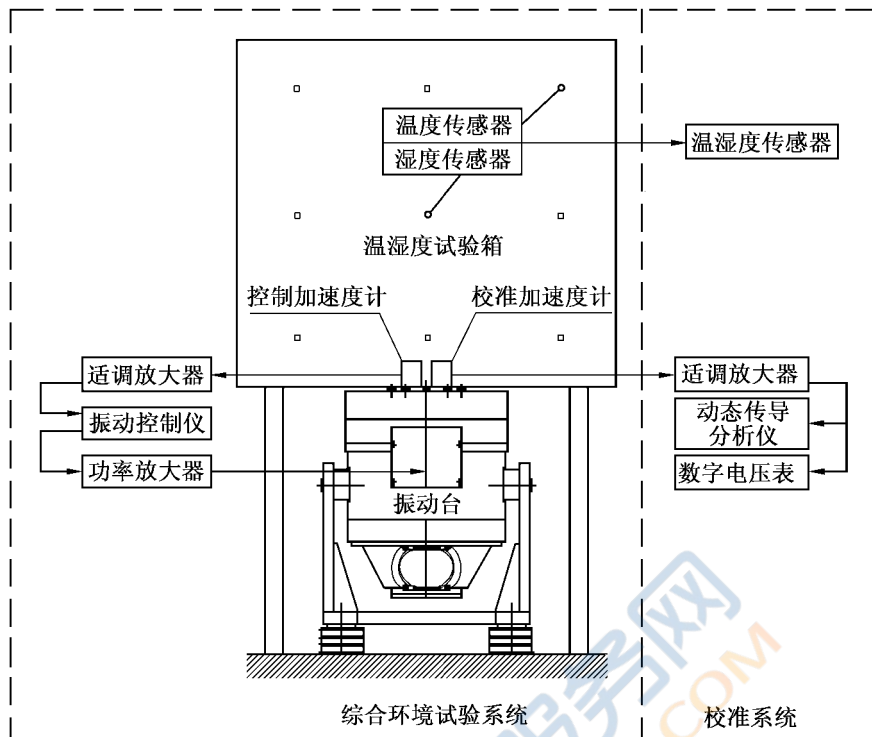


图 1 综合环境试验系统及其校准系统简图

5 计量特性

综合环境试验系统校准项目的参数测量范围和计量特性参考数据见表 1。

表 1 参数测量范围和计量特性参考数据

序号	校准项目	测量参数范围	测量参数容差
1	工作时平均噪声	≤ 120 dB	实测值
2	温度偏差	$(-75 \sim +200)$ °C	$\pm(2 \sim 3)$ °C
3	温度波动度	$(-75 \sim +200)$ °C	$\pm(1 \sim 2)$ °C
4	温度均匀度	$(-75 \sim +200)$ °C	温度梯度 1 °C/m 或最大 2.2 °C
5	温度指示仪表 示值误差	$(-75 \sim +200)$ °C	$\pm(1 \sim 2)$ °C
6	温度变化速率	$(0.5 \sim 60)$ °C/min	实测值
7	风速	$(0.5 \sim 30)$ m/s	实测值
8	相对湿度偏差	$(10 \sim 98)$ %	$\pm(3 \sim 5)$ %
9	相对湿度指示仪表 示值误差	$(10 \sim 98)$ %	$\pm(3 \sim 5)$ %
10	最低露点温度	$(-20 \sim +31)$ °C	实测值

表 1 (续)

序号	校准项目	测量参数范围	测量参数容差
11	温度循环中 振动加速度幅值示值误差	(1~1 500) m/s ²	±10%
12	振动台附加台面 加速度响应特性 及台面加速度均匀度	(1~1 500) m/s ²	实测值
13	振动控制通道一致性	(0~6) dB	±(0.1~0.5) dB

注：以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

综合环境试验系统校准连接状态如图 1 所示。

6.1 试验箱的校准状态

a) 试验箱在校准前应进行基本状态评估，在确认其外观、结构完整性及安全性等状况满足有关技术文件要求的情况下，才能开始校准；

b) 对于温度、湿度、振动（或温度、振动）综合环境试验系统，温度、湿度项目的校准均应在综合状态下进行，即试验箱应和振动台组合在一起进行校准；

c) 对于温度试验箱、温湿度试验箱、快速温度变化试验箱的校准，箱体周边的壁板应完全密闭。

6.2 振动试验设备的状态

振动试验设备（含水平滑台）必须是在实验室大气环境条件下，已按振动试验设备的相关技术规范进行检定或校准，并处于有效期内的设备。

振动台的台面（含水平滑台）应安装有适当的隔热措施。

6.3 校准时的环境条件

温度：(15~35)℃；

湿度：(15~90)%RH；

电源：200 V~240 V 或 360 V~400 V，(50±1) Hz；

周围无强振动源、无强磁场、无腐蚀性介质；

被校准的设备及校准所用仪器均应接地良好。

6.4 校准时的负载条件

如无具体规定，本规范的校准项目在空载条件下进行。

6.5 校准用仪器要求

校准所用仪器应具有计量技术机构颁发的、有效的检定或校准证书。校准用仪器要求见表 2。

表 2 校准用仪器要求

序号	校准项目	校准用仪器	
1	工作时平均噪声	声级计	允许误差：±1 dB
2	温度偏差	热电阻（或热电偶） 温度巡检仪	温度传感器响应时间：15 s 温度测量系统的最大允许误差：±0.2 °C
3	温度波动度		
4	温度均匀度		
5	温度指示仪表示值误差		
6	温度变化速率	热电阻（或热电偶） 温度巡检仪	温度传感器响应时间： ≤0.5 s
7	风速	热线风速仪	感应量：≤0.1 m/s
8	相对湿度偏差	干、湿球温度计或湿度传 感器 温湿度巡检仪	干、湿球温度计最大允许误差：±0.1 °C 湿度测量系统的最大允许误差：±2%
9	相对湿度指示仪表示值误差		
10	最低露点温度	露点仪	最大允许误差：±0.5 °C
11	温度循环中 振动加速度幅值示值误差	振动测量分析系统（加速度 计须进行温度响应的检定或 校准）	幅值： $U=3\%$ $k=2$
12	振动台附加台面 加速度响应特性 及台面加速度均匀度		
13	振动控制通道一致性		
		精密电容	最大允许误差：0.05%

7 校准项目

校准项目见表 3。

表 3 校准项目

序号	校准项目	规范条款	备注
1	工作时平均噪声	8.1	有需要时校准
2	温度	温度偏差 ΔT_d	8.2 必校项目
	温度波动度 ΔT_f	8.3	有需要时校准
	温度均匀度 ΔT_u	8.4	有需要时校准
	温度指示仪表示值误差 ΔT_i	8.5	必校项目
	温度变化速率 v_t	8.6	有需要时校准
	风速 v_f	8.7	有需要时校准

表 3 (续)

序号	校准项目		规范条款	备注
3	湿 度	相对湿度偏差 ΔH_d	8.8	必校项目
		相对湿度指示仪表示值误差 ΔH	8.9	必校项目
		最低露点温度 T_{dp}	8.10	有需要时校准
4	振 动	温度循环中 振动加速度幅值示值误差 Δa_{is}	8.11	必校项目
		振动台附加台面 加速度响应特性 及台面加速度均匀度	8.12	有需要时校准
		振动控制通道一致性	8.13	有需要时校准

8 校准方法

8.1 工作时平均噪声校准

8.1.1 测量点的布置

在规定的工作范围内, 围绕三综合试验设备四个周边的中心地点, 距试验设备外廓 1 m 远, 离地面 1.5 m 高处用声级计 (A 计权) 测量, 取四周测量结果的平均值为校准结果。

8.2 试验箱温度偏差校准

8.2.1 测量点的布置

试验箱工作空间内温度测量点为 N 个, 测量点位置如图 2 所示。当试验箱容积 $\leq 2 \text{ m}^3$ 时, 测量点 $N=9$ ($O, A, B, C, D, F, G, H, I$), 当试验箱容积 $> 2 \text{ m}^3$ 时, 测量点 $N=15$ ($O, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, Q, P$), 其中测量点 (O) 布置在试验箱工作空间的几何中心点, 其他各测量点分层布置在试验箱内上下两层的八个角, 测量点至箱壁距离为试验箱内壁对边距离 (l) 的 $1/8$ 。如有必要, 还可以在试验箱工作空间内增加测量点。

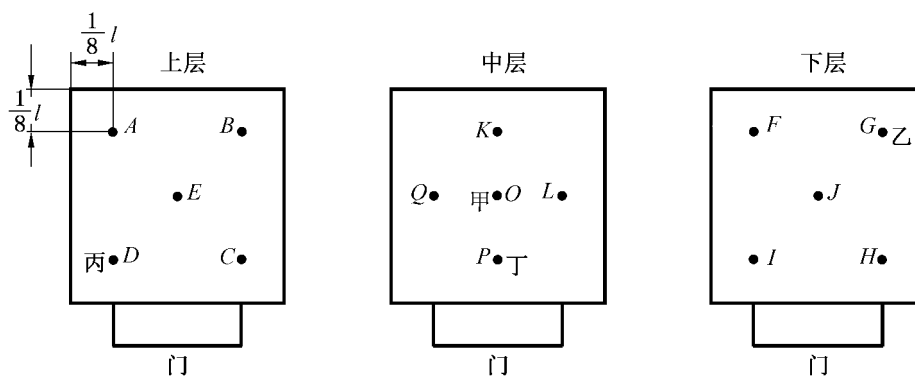


图 2 温度和湿度测量点的布置图

注: 图中 $A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, O, P, Q$ 为温度测量点;
甲、乙、丙、丁为相对湿度测量点。

8.2.2 校准温度值及时序的选择

- 1) 按试验箱使用方提供的校准温度值进行校准；
- 2) 使用方如无特殊要求和规定，建议选择校准温度值为
低温：-55℃；
高温：+85℃。

8.2.3 校准步骤及结果

- 1) 振动台不工作，使试验箱在所选择的校准温度下运行；
- 2) 当试验箱工作空间中心点温度达到或接近（如相差 2℃）设定的校准温度值时，保持温度稳定 30 min，然后每隔 1 min 记录一次 N 个测量点的温度值 T_{ij} ($i=1, 2, \dots, 16$; 测量次数; $j=1, 2, \dots, N$; 测量点数) 和试验箱指示仪表的温度值 T_{si} ($i=1, 2, \dots, 16$; 测量次数), 共 15 min, 记录 16 次；
- 3) 找出全部实测温度值 T_{ij} 中的最高温度值和最低温度值 T_{\max} , T_{\min} ；
- 4) 按公式 (1) 计算最高温度值 T_{\max} 和最低温度值 T_{\min} 与设定的校准温度值 T_b 之温度偏差 ΔT_d 。

$$\left. \begin{aligned} \Delta T_{d1} &= T_{\max} - T_b \\ \Delta T_{d2} &= T_{\min} - T_b \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

8.3 试验箱温度波动度校准

取 8.2.3 中试验箱工作空间内 N 个测量点 15 min 内的实测温度数据，计算每一个测量点在 15 min 内的最高温度 $T_{j\max}$ 与最低温度 $T_{j\min}$ 的差值，选取 N 个测量点中的最大差值为试验箱的温度波动度 ΔT_f ，即：

$$\Delta T_f = \text{MAX}[(T_{j\max} - T_{j\min})_j] \quad (2)$$

式中： $j=1, 2, 3, \dots, N$ ；测量点数。

8.4 试验箱温度均匀度校准

取 8.2.3 中试验箱工作空间内 N 个测量点 15 min 内的实测温度数据，计算每次（共 16 次）校准中 N 个测量点中实测最高温度 $T_{i\max}$ 与最低温度 $T_{i\min}$ 之差值，取 16 次差值的算术平均值为试验箱的温度均匀度 ΔT_u ，即：

$$\Delta T_u = \left| \sum_{i=1}^{16} (T_{i\max} - T_{i\min}) \right| / 16 \quad (3)$$

式中： $i=1, 2, 3, \dots, 16$ ；测量次数。

8.5 温度指示仪表示值误差校准

1) 取 8.2.3 校准过程中 N 个测量点 15 min 内实测的数据 T_{ij} 和 T_{si} ，按公式 (4) 计算试验箱工作空间温度场平均值 T_m 和温度指示仪表示值的平均值 T_{sm} 。

$$\left. \begin{aligned} T_m &= \frac{1}{16 \times N} \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^N T_{ij} \\ T_{sm} &= \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} T_{si} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中： $i=1, 2, \dots, 16$ ；测量次数；

$j=1, 2, \dots, N$ ；测量点数。

2) 按公式 (5) 计算试验箱温度指示仪表的示值误差 ΔT_i 。

$$\Delta T_i = T_{sm} - T_m \quad (5)$$

8.6 试验箱温度变化速率校准

8.6.1 校准用负载条件

温度变化速率的校准应在有负载条件下进行, 负载的材料及质量由使用方提供。如用户无特殊规定, 推荐校准用负载按以下原则配置:

- 1) 校准用负载以铝件为主, 采用其他材料的负载应考虑与铝件热容量的比例关系;
- 2) 每立方米试验箱容积内, 校准用负载的质量规定为 50 kg;
- 3) 每立方米试验箱容积内, 校准用负载的发热量规定为 1 kW;
- 4) 校准用负载的体积与试验箱容积之比不应大于 1:5;
- 5) 校准用负载在试验箱主送风方向的投影面积不得大于试验箱工作空间在该方向上横截面积的三分之一。

8.6.2 测量点的选择

温度变化速率的测量点选择为 A、B 两点 (见图 2), 取两点测量结果的平均值作为温度变化速率。

8.6.3 校准用温度剖面

1) 校准用温度剖面图见图 3, 图中 T_1 (最高温度)、 T_2 (最低温度) 及温度变化速率 v 的量值由使用方确认;

2) 若使用方无规定, 推荐选取:

$$T_1 = +85 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$T_2 = -55 \text{ } ^\circ\text{C};$$

v_1 = 试验箱的最大降温变化速率, $^\circ\text{C}/\text{min}$;

v_2 = 试验箱的最大升温变化速率, $^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

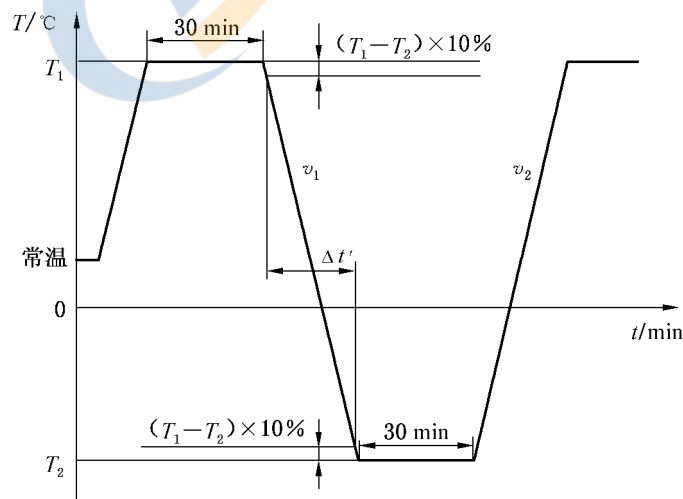


图 3 温度变化速率校准用时序剖面图

8.6.4 校准步骤及结果处理

试验箱温度变化速率的校准, 可根据使用方的要求选择下述不同的方法进行。

方法一：最大平均温度变化速率校准

当温度随时间单调变化的实际过程曲线不出现超调量时，可以按下述方法校准试验箱最大平均温度变化速率，步骤如下：

1) 振动台不工作，使试验箱按图 3 所示温度剖面图运行；

2) 记录温度从 T_1 （或 T_2 ）降（升）温至 T_2 （或 T_1 ）所经历的温度—时间曲线，时间以分为单位，但记录应精确至秒级；

3) 按公式（6）计算试验箱最大平均温度变化速率 v_{mt} ；

$$v_{mt} = \frac{80\%(T_1 - T_2)}{\Delta t'} \quad (6)$$

式中： $\Delta t'$ ——温度由 T'_1 (T'_2) 变化到 T'_2 (T'_1) 所持续的时间，min。

其中： $T'_1 = T_1 - (T_1 - T_2) \times 10\%$ ， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T'_2 = T_2 + (T_1 - T_2) \times 10\%$ ， $^{\circ}\text{C}$ 。

方法二：全程平均温度变化速率校准

无论实测温度随时间单调变化的过程曲线是否出现超调量，均可以按下述方法校准试验箱全程平均温度变化速率，步骤如下：

1) 振动台不工作，使试验箱按图 3 所示温度剖面图运行；

2) 记录温度从 T_1 （或 T_2 ）降（升）温至 $T_2 \pm 2^{\circ}\text{C}$ （或 $T_1 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ）所经历的温度—时间曲线，时间以分为单位，但记录应精确至秒级。记录的长度应直到温度稳定在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内为止；

3) 按公式（7）计算试验箱全程平均温度变化速率 v_{wt} ；

$$v_{wt} = \frac{T_1 - T_2}{\Delta t} \quad (7)$$

式中： T_1 ， T_2 ——温度变化过程起始点和终端点的设定温度值， $^{\circ}\text{C}$ ；

Δt ——实测温度由起始点温度 T_1 （或 T_2 ）变化到进入终端点温度值 $T_2 \pm 2^{\circ}\text{C}$ （或 $T_1 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ）所经历的时间（min），并且在此时间之后，实测温度值应能始终处于该误差范围（ $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ）之内。

方法三：瞬态温度变化速率校准

如需校准试验箱温度变化过程中某点的瞬态温度变化速率，校准用测温传感器的响应时间必须低于 0.1 s，校准步骤如下：

1) 振动台不工作，使试验箱按图 3 所示温度剖面图运行；

2) 自动（或手动）记录温度从 T_1 （或 T_2 ）降（升）温至 T_2 （或 T_1 ）的温度—时间历程曲线，过程记录的时间间隔视变温速率大小而定，但记录应精确至秒；

3) 按公式（8）计算试验箱瞬态温度变化速率 v_{it} ；

$$v_{it} = \frac{T_1 - T_2}{\Delta t} \quad (8)$$

式中： T_1 ， T_2 ——温度变化过程曲线上某点实测温度值， $^{\circ}\text{C}$ ；

Δt ——实测温度由 T_1 变化到 T_2 所经历的时间，min。

8.7 试验箱内气流风速校准

8.7.1 测量点布置

试验箱工作空间内气流风速的测量点为 M 个，测量点位置如图 2 所示。当试验箱容积 $\leq 2 \text{ m}^3$ 时，测量点 $M=3$ （甲、乙、丙），当试验箱容积 $> 2 \text{ m}^3$ 时，测量点 $M=4$ （甲、乙、丙、丁），其中测量点（甲）布置在试验箱工作空间的几何中心点，其他各测量点分层布置在试验箱内的四周，测量点至箱壁距离为试验箱内壁对边距离（ L ）的 $1/8$ 。如有必要，还可以在试验箱工作空间内增加测量点。

8.7.2 校准方法

1) 校准试验箱内气流风速时，振动台不工作；

2) 对于固定风速的试验箱只校准试验箱内的最大气流风速，对于可变风速的试验箱需校准试验箱内的最高气流风速和最低气流风速。

8.7.3 气流风速校准步骤及结果处理

1) 试验箱内气流风速的校准可以在常温下进行，启动试验箱运行 15 min 后可开始校准。也可以和温度参数的校准同步进行，但只需要选择一个温度点进行气流风速的校准。

2) 将细而薄的丝带或其他轻飘性物体悬挂于测量点处，关闭箱门后启动试验箱，观察并记录该测量点处的主导风向；

3) 将风速仪置于测量点处，风速仪的敏感轴方向与该测量点处的主导风向一致；

4) 实测并记录 M 个点处主导风向的最大风速值；

5) 取 M 个点处实测最大风速的平均值为该试验箱内气流的平均风速。

8.8 试验箱相对湿度偏差校准

8.8.1 测量点布置

试验箱工作空间内湿度测量点为 M 个，测量点位置如图 2 所示。当试验箱容积 $\leq 2 \text{ m}^3$ 时，测量点 $M=3$ （甲、乙、丙），当试验箱容积 $> 2 \text{ m}^3$ 时，测量点 $M=4$ （甲、乙、丙、丁），其中测量点（甲）布置在试验箱工作空间的几何中心点，其他各测量点分层布置在试验箱内的四周，测量点至箱壁距离为试验箱内壁对边距离（ L ）的 $1/8$ 。如有必要，还可以在试验箱工作空间内增加测量点。

8.8.2 校准用相对湿度值的选择

1) 按试验箱使用方提供的温度——相对湿度范围图选择校准用温度和相对湿度值；

2) 使用方如无特殊要求和规定，推荐选用温度 T_b 和相对湿度 H_b 的校准值为：

高温高湿： $T_b = 65 \text{ }^\circ\text{C}$ $H_b = 95 \%$

低温低湿： $T_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ $H_b = 45 \%$

8.8.3 校准步骤及结果处理

1) 振动台不工作，使试验箱在所选择的校准温度 T_b 下运行；

2) 待试验箱的温度稳定在校准温度值 T_b 后，试验箱开始加湿，直到试验箱工作空间中心点处的相对湿度达到或接近（如相差 5%）设定的校准湿度值 H_b ，稳定 30 min 后，每隔 1 min 记录一次各测量点的相对湿度值 H_{ij} （ $i=1, 2, \dots, 16$ 测量次数； $j=1, 2, \dots, M$ 测量点数）和试验箱指示仪表的相对湿度示值 H_{si} （ $i=1, 2, \dots, 16$ 测量次数），共 15 min，测量 16 次。

3) 在剔除异常值后，找出实测相对湿度值 H_{ij} 中的最大相对湿度值 H_{\max} 和最小相

对湿度 H_{\min} ，按公式 (9) 分别计算与相对湿度校准值 H_b 之差为相对湿度偏差 ΔH_d 。

$$\left. \begin{aligned} \Delta H_{d1} &= H_{\max} - H_b \\ \Delta H_{d2} &= H_{\min} - H_b \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

8.9 相对湿度指示仪表示值误差校准

1) 取 8.8.3 校准过程中 M 个测量点 15 min 内实测的数据 H_{ij} 和 H_{si} ，按公式 (10) 计算试验箱工作空间湿度场的平均值 H_m 和湿度指示仪表示值的平均值 H_{sm} 。

$$\left. \begin{aligned} H_m &= \frac{1}{16 \times M} \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^M H_{ij} \\ H_{sm} &= \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} H_{si} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

式中： $i=1, 2, \dots, 16$ ，测量次数；

$j=1, 2, \dots, M$ ，测量点数。

2) 按公式 (11) 计算试验箱相对湿度指示仪表的示值误差 ΔH_i 。

$$\Delta H_i = H_{sm} - H_m \quad (11)$$

8.10 试验箱最低露点温度校准

8.10.1 测量点选择

露点温度的校准点通常选择试验箱工作空间的几何中心点，也可根据使用方需要，选用试验箱工作空间内的其他点。

8.10.2 校准方法

方法 1：使用露点仪校准该状态下的露点温度。

方法 2：实测某个较低温度值和该温度状态下可能达到的最低相对湿度值，通过查湿空气的焓湿图或计算得到露点温度值。

8.10.3 校准步骤及结果处理

1) 根据试验箱最低露点温度值，通过查表或计算得到对应温度为 30 °C（或更低的温度值）时的相对湿度值 H_{dp} ；

2) 设置试验箱的温度为 30 °C（或更低的温度值），相对湿度为 H_{dp} ；

3) 振动台不工作，将试验箱的温度稳定在 30 °C（或更低的温度值）后，试验箱开始除湿，直到试验箱工作空间中心点处的相对湿度值进入 $\pm (3 \sim 5)\%$ 范围内波动后，保持该稳定状态 15 min。

a) 如按方法 1 校准，待相对湿度稳定后，每隔 1 min 记录一次露点温度值，共测 10 次；

b) 如按方法 2 校准，待相对湿度稳定后，每隔 1 min 记录一次温度值及对应的最低相对湿度值，共测 10 次。

8.10.4 校准结果计算

1) 如按方法 1 校准，取 10 次的实测数据，计算最低露点温度的算术平均值 T_{dp} ；

2) 如按方法 2 校准，取 10 次的实测数据，计算实测温度和最低相对湿度的算术平均值，再通过查表或计算得到试验箱的最低露点温度值 T_{dp} 。

8.11 温度循环中，振动加速度幅值示值误差校准

8.11.1 校准步骤

1) 将控制用加速度计和校准用加速度计尽可能地相互靠近安装在振动台面上, 控制用加速度计须进行温度响应的检定或校准后, 才能用于综合环境试验系统的控制;

2) 选取振动台正弦振动最大空载加速度值的 (1/10~1/5) 为校准用加速度值 a_b , 也可按使用方的要求选取校准用加速度值;

3) 选取某个非谐振工作频率为振动台工作频率, 如 160 Hz;

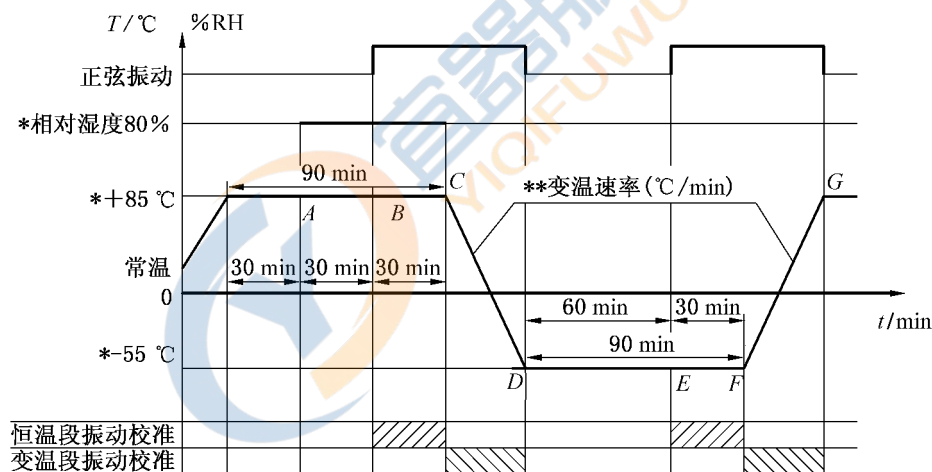
4) 按图 4 所示时序剖面图, 运行温度、湿度试验箱;

5) 按图 4 所示时序剖面图, 使振动台在振动检测时间段内, 按所选择的工作频率值, 产生稳定的、加速度为 a_b 的定频正弦振动;

6) 在高温温度稳定段 (B~C) 和低温温度稳定段 (F~G) 内, 连续读取校准用加速度计的实测值 a_{b_i} ($i=1, 2, \dots, 10$; 测量次数) 和控制用加速度计的实测值 a_{c_i} , 重复 10 次;

7) 从降 (升) 温阶段的起始点 C(G) 至降 (升) 温阶段的终止点 D(H), 每隔 1 min 读取校准用加速度计的加速度量值 a_{b_i} 和振动试验系统控制用加速度计示值 a_{c_i} 。

注: 采样时间间隔取决于温度变化速率的大小, 要求在温度变化段内至少读取 5 个以上的加速度数据, 以便计算其算术平均值 a_{bmu} 、 a_{bmd} 、 a_{cmu} 和 a_{cmd} 。



注: * 也可根据用户要求选用其他温度值或湿度值

* * 变温速率按设备的最大能力确定

图 4 温度、湿度、振动校准用时序剖面图

8.11.2 校准结果计算

1) 计算在高温温度稳定段 (B~C) 和低温温度稳定段 (E~F) 内, 连续 10 次读取的 a_{b_i} 和 a_{c_i} 实测值的算术平均值 a_{bm} 和 a_{cm} ;

2) 按公式 (12) 计算温度为 +85 °C 和 -55 °C 的加速度幅值示值误差 Δa_{is} ;

$$\Delta a_{is} = \frac{a_{cm} - a_{bm}}{a_{bm}} \times 100\% \quad (12)$$

3) 分别计算在升温阶段和降温阶段校准用加速度计加速度实测值的算术平均值 a_{bmu} 和 a_{bmd} , 及控制用加速度计加速度实测值的算术平均值 a_{cmu} 和 a_{cmd} ;

4) 按公式 (13) 计算温度变化 (升温或降温) 下加速度幅值示值误差 Δa_{iu} 和 Δa_{id} 。

$$\left. \begin{aligned} \Delta a_{iu} &= \frac{a_{cmu} - a_{bmu}}{a_{bmu}} \times 100\% \\ \Delta a_{id} &= \frac{a_{cmd} - a_{bmd}}{a_{bmd}} \times 100\% \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

8.12 振动台附加台面加速度响应特性及台面加速度均匀度校准

当综合环境试验系统的振动台（含水平滑台）带有隔热垫或附加扩展台面时，需校准隔热垫上方或附加扩展台面上安装试件的螺孔附近的加速度响应特性及加速度均匀度。

此校准项目在试验箱不工作状态下进行。

8.12.1 附加台面加速度响应特性校准

- 1) 将加速度计刚性地固定在附加台面上的中心点；
- 2) 使振动台稳定运行于低量级（总均方根额定值的 1/10~1/5）的白噪声谱状态；
- 3) 记录加速度计的测量谱和振动台功率放大器的输入谱，将二者相除，得到安装附加台面后的一阶共振频率（峰或谷）及其频率响应曲线。

8.12.2 附加台面加速度均匀度校准

1) 测量点布置

- a) 对于用安装螺栓固定隔热垫的振动台，按照单独校准振动台时的测点位置安装校准用加速度计，参见图 5；

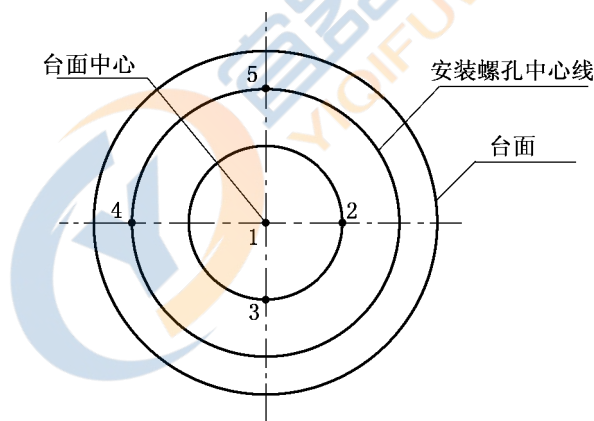


图 5 校准附加台面加速度均匀度的布点图

- b) 对于有附加扩展台面的（垂直）振动台，如果扩展台面上安装螺孔的中心按同心圆分布，可按图 5 安装校准用加速度计；如果扩展台面是带有 T 形槽的圆形台面，可参照图 5 的布点方案在不同直径的圆周上安装校准用加速度计；

- c) 对于水平滑台上的附加台面，应将 5 只校准用加速度计分别刚性地安装于水平滑台附加台面中心和附加台面的四个角上。

2) 校准步骤及结果处理

- a) 在附加台面的中心点附近安装控制用加速度计；
- b) 按振动台的工作频率范围选取包括上、下限在内的不少于 10 个频率点，在各个选取的频率点处，以其相对应的最大振动幅值的 50% 进行定频正弦振动，同时实测各测量点的加速度值，按公式（14）计算附加台面的加速度幅值均匀度 N 。

$$N = \frac{|\Delta a|_{\max}}{a_1} \times 100\% \quad (14)$$

式中： a_1 ——某次测量中，台面中心点的加速度值， m/s^2 ；

$|\Delta a|_{\max}$ ——同次测量中，台面上其他测量点与中心点加速度幅值的最大偏差， m/s^2 。

8.13 振动控制通道一致性校准

1) 对于采用外置式多通道电荷放大器的多通道振动控制仪，电荷放大器须单独进行检定或校准，振动控制通道一致性的校准按 JJG 948—1999 的规定执行；

2) 对于配有内置式电荷放大器的多通道振动控制仪，可以选择下面两种校准方法之一进行通道一致性的校准。

8.13.1 振动试验系统闭环校准方法

1) 将校准用加速度计和控制用加速度计尽可能地相互靠近安装在振动台面上；

2) 在振动台工作频率范围内，选择 5 个非谐振工作频率 f_b （例如工作频率为 5 Hz ~ 2 000 Hz 时，可取 $f_b = 5 \text{ Hz}, 160 \text{ Hz}, 400 \text{ Hz}, 1\,000 \text{ Hz}, 2\,000 \text{ Hz}$ ），选取与振动台工作频率 f_b 相对应的额定加速度幅值的（1/10~1/5）为校准用加速度值 a_b ；

3) 试验箱不工作，启动振动台，以振动控制仪的第一通道进行控制，并使振动台稳定运行于加速度峰值为 a_b 的定频（频率为 f_b ）正弦振动状态，测量加速度值 a_{s1} ；

4) 依次切换至振动控制仪的其他通道，测量对应的加速度值 a_{si} （ $i=2, \dots, N$ ， N 为测量通道数）；

5) 按公式（15）计算其他各通道的加速度测量值与第一通道的加速度测量值的相对示值误差 ΔE_{ai} ；

$$\Delta E_{ai} = 20 \lg \frac{a_{si}}{a_{s1}} \quad (15)$$

6) 改变振动台工作频率至选定的第二个频率点，重复 3) 至 5) 的步骤，直到所选定的 5 个工作频率点均得到 ΔE_{ai} ；

7) 取 ΔE_{ai} 中绝对值最大者为多通道振动试验系统的通道一致性。

8.13.2 振动控制仪自闭环校准方法

在振动控制仪的 N 个通道输入端口施加同一量值的电荷量，从控制仪依次读出各个通道的实测电压值 V_{si} （ $i=1, \dots, N$ ， N 为测量通道数），按公式（16）计算其他通道实测电压值与第一通道实测电压值的相对示值误差 ΔE_{ai} ，取 ΔE_{ai} 中绝对值最大者为多通道振动试验系统的通道一致性。

$$\Delta E_{ai} = 20 \lg \frac{V_{si}}{V_{s1}} \quad (16)$$

注：匹配外置式多通道电荷放大器的振动控制仪以自闭环方法校准通道一致性时，是在多通道控制仪的输入端口施加同一量值的交流电压信号。

9 校准结果表达

校准后发给校准证书或校准报告。校准证书或校准报告至少应包括以下信息：

- a) 标题，“校准证书”或“校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；

- c) 证书或报告的编号，每页及总页数的标识；
- d) 校准单位校准专用章；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 被校设备的名称、制造厂、型号规格、编号；
- g) 进行校准的日期；
- h) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用的测量标准的名称、出厂编号、准确度/等级、证书编号、溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境条件的描述，包括：温度、湿度等；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务，以及签发日期；
- m) 校准试验的操作人及核验人的签名；
- n) 校准结果仅对被校设备有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

10 复校时间间隔

- a) 建议复校时间间隔为 2 年。使用单位可根据实际使用情况自主决定；
- b) 对综合环境试验系统的重要部件（指对试验条件有直接影响的部件）维修或更换后应进行校准；
- c) 封存的综合环境试验系统重新启用时，以及综合环境试验系统安装调试之后应进行校准。

附录 A

校准证书内页格式

序号	校准项目	测量值	备注	
1	工作时平均噪声	dB (A)		
2	温度偏差	℃		
3	温度波动度	℃		
4	温度均匀度	℃		
5	温度指示仪表示值误差	℃	温度范围	
6	最大平均温度变化速率	℃/min		
	全程平均温度变化速率	℃/min		
	瞬态温度变化速率	℃/min		
7	风速	m/s		
8	相对湿度偏差	%		
9	相对湿度指示仪表示值误差	%	湿度范围	
10	最低露点温度	℃		
11	温度循环中 振动加速度幅值示值误差	℃	%	
		℃	%	
		升温段	%	变温速率
		降温段	%	变温速率
12	振动台附加台面 加速度响应特性	一阶共振频率: Hz	响应特性曲线图见附图	
	振动台附加台面 加速度均匀度	%		
13	振动控制通道一致性	dB	采用 校准方法	

对本次校准:

温度校准结果不确定度为

相对湿度校准结果不确定度为

振动加速度幅值校准结果不确定度为