



中华人民共和国国家标准

GB/T 44279—2024



温度-湿度-振动-低气压综合环境试验系统

Temperature-humidity-vibration-low pressure combined environmental testing system

2024-08-23 发布

2025-03-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 系统组成 3

5 基本参数 4

6 技术要求 4

 6.1 使用条件 4

 6.2 性能指标 5

 6.3 接口部件 6

 6.4 振动台 6

 6.5 试验箱 6

 6.6 外观要求 6

7 检验方法 6

 7.1 检验环境和条件 6

 7.2 检验用仪器和设备 6

 7.3 检验用负载 7

 7.4 温度和湿度检测 7

 7.5 振动最大位移的检测 10

 7.6 加速度幅值示值误差的检测 11

 7.7 随机振动控制精度的检测 11

 7.8 温度变化和压力变化过程中随机振动控制精度的检测 12

 7.9 极限低气压和气压偏差的检测 12

 7.10 气压变化速率的检测 13

 7.11 接口部件的检测 13

 7.12 外观检查 15

8 检验规则 15

 8.1 出厂检验 15

 8.2 型式检验 15

 8.3 判定规则 16

9 标志与包装 16

 9.1 标志 16

 9.2 包装 16

10 随机文件 16

附录 A（资料性） 振动工作台面中心位置测量、显示装置校准方法 17

参考文献 18

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不应承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国试验机标准化技术委员会(SAC/TC 122)归口。

本文件起草单位：苏州苏试试验集团股份有限公司、浙江省机电产品质量检测所有限公司、中机试验装备股份有限公司、航天科工防御技术研究试验中心、北京航空航天大学、工业和信息化部电子第五研究所、重庆银河试验仪器有限公司、大连智鼎科技有限公司、沈阳工业大学。

本文件主要起草人：吴熙、吴飞、任霞、王刚、吴飒、郑术力、李书山、张兆宇、赵海宁。



温度-湿度-振动-低气压综合环境试验系统

1 范围

本文件规定了温度-湿度-振动-低气压综合环境试验系统的组成、技术要求、检验规则、标志和包装,描述了温度-湿度-振动-低气压综合环境试验系统的检验方法。

本文件适用于温度-湿度-振动-低气压综合环境试验系统(以下简称“四综合试验系统”)的制造。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 2611—2022 试验机 通用技术要求
- GB/T 11159—2010 低气压试验箱技术条件
- GB/T 13310—2007 电动振动台
- GB/T 36416.3 试验机词汇 第3部分:振动试验系统与冲击试验机
- GB/T 50050—2017 工业循环冷却水处理设计规范
- JB/T 6147—2007 试验机包装、包装标志、储运技术要求

3 术语和定义

GB/T 36416.3 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工作室 testing room
试验箱内壁所限定的空间。

3.2

工作室容积 testing room volume
试验箱内壁所限定空间的实际容积。

注:单位为立方米(m³)。
[来源:GB/T 10592—2023,3.2,有修改]

3.3

工作空间 working space
试验箱中能将规定的试验条件保持在规定容差范围内的空间。
[来源:GB/T 5170.1—2016,3.2.2,有修改]

3.4

温度设定值 temperature set point
用试验箱控制装置设定的期望温度。
[来源:GB/T 10592—2023,3.6]



3.5

温度稳定状态 temperature steady state

工作空间内任意点的温度变化量达到试验箱本身性能指标要求时的状态。

[来源:GB/T 10592—2023,3.4,有修改]

3.6

温度偏差 temperature deviation

试验箱稳定状态下,工作空间各测量点在规定时间内实测的最高温度和最低温度分别与设定温度的上偏差和下偏差。

[来源:GB/T 10592—2023,3.7]

3.7

升温速率 rate of temperature increase

在工作空间中心测得的由低温升至高温的转变速率。

注:单位为摄氏度每分($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)。

3.8

降温速率 rate of temperature decrease

在工作空间中心测得的由高温降至低温的转变速率。

注:单位为摄氏度每分($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)。

3.9

相对湿度 relative humidity; RH

在恒定温度时,在给定的体积空气中,水汽分压力与饱和水汽压力的比率。

注:相对湿度是表示空气中水汽含量最常用的方法,用百分数表示。

[来源:GB/T 10586—2006,3.13,有修改]

3.10

气压设定值 air pressure set point

用试验箱控制装置设定的期望气压值。

[来源:GB/T 11159—2010,3.2]

3.11

气压标称值 achieved nominal value

按试验方法要求规定的气压值或需要预先确定的气压值。

[来源:GB/T 11159—2010,3.3]

3.12

实际气压 achieved air pressure

试验稳定后,试验箱工作空间内的气压。

[来源:GB/T 11159—2010,3.4]

3.13

气压变化速率 air pressure rate of change

在工作空间测得的两个给定气压之间的转变速率。

注:单位为千帕每分(kPa/min)。

[来源:GB/T 11159—2010,3.7,有修改]

3.14

气压偏差 air pressure variation

试验稳定后,在任意时间间隔内,其气压的最高和最低值与气压标称值之差。

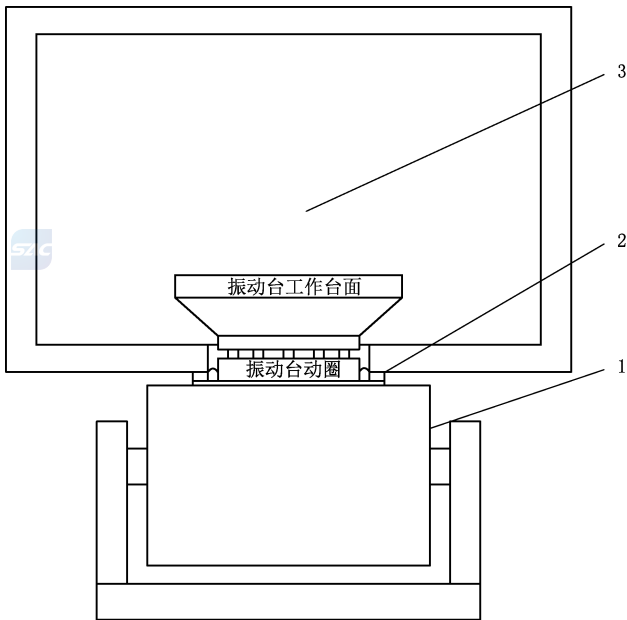
[来源:GB/T 11159—2010,3.8]

- 3.15
常压区 the state of normal pressure
试验过程中,工作空间内气压处于稳定常压的状态。
- 3.16
低压区 the state of low pressure
试验过程中,工作空间内气压处于稳定低气压的状态。
- 3.17
最大气压变化速率 max change rate of air pressure
在工作空间测得的两个给定气压之间的最大转变率。
- 3.18
定频振动 the state fixed frequency sinusoidal vibration
试验过程中,振动台处于固定频率正弦振动状态。

4 系统组成

四综合试验系统由电动振动台(以下简称振动台)、接口部件和试验箱三部分组成,四综合试验系统组成示意图见图 1,其中:

- 试验箱集成了温度试验分系统、湿度试验分系统和低气压试验分系统,其原理示意图见图 2;
- 接口部件连接试验箱和振动台,确保试验箱开孔部位在振动工况下的密封,消除温度、湿度、低气压等因素对振动台的不良影响。



标引序号说明:

- 1——振动台;
- 2——接口部件;
- 3——试验箱。

图 1 四综合试验系统组成示意图

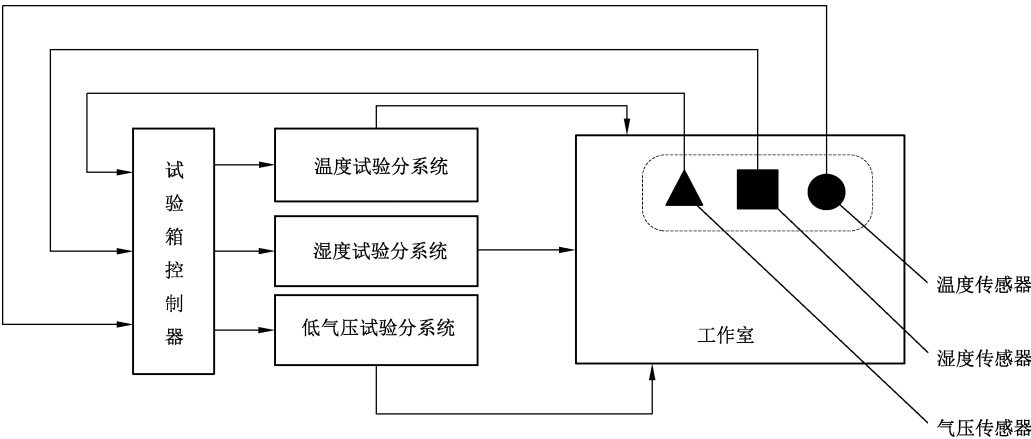


图 2 试验箱原理示意图

5 基本参数

四综合试验系统应包含下列基本参数：

- a) 温度偏差,单位为摄氏度(℃)；
- b) 升温速率、降温速率,单位为摄氏度每分(℃/min)；
- c) 相对湿度容许偏差；
- d) 振动最大位移,单位为毫米(mm)；
- e) 加速度幅值示值误差；
- f) 加速度功率谱密度控制精度(稳态),单位为分贝(dB)；
- g) 加速度总均方根控制精度(稳态),单位为分贝(dB)；
- h) 加速度功率谱密度控制精度(动态),单位为分贝(dB)；
- i) 加速度总均方根控制精度(动态),单位为分贝(dB)；
- j) 极限低气压,单位为千帕(kPa)；
- k) 气压偏差,单位为千帕(kPa)；
- l) 气压变化速率,单位为千帕每分(kPa/min)。

6 技术要求

6.1 使用条件

6.1.1 环境条件

四综合试验系统在下列环境条件下应能正常工作：

- a) 环境温度:5℃~35℃；
- b) 相对湿度:20%~85%(20℃时)；
- c) 大气压:80kPa~106kPa；
- d) 周围无腐蚀性介质及较强的振动源；
- e) 无阳光直接照射或其他冷、热源直接辐射；
- f) 周围无强烈气流直接吹到箱体上；
- g) 周围无强烈电磁干扰源；

h) 周围无高浓度粉尘及腐蚀性物质。

6.1.2 供电电源

供电电源应满足以下要求：

- a) 电源电压变化不应超过额定工作电压的±10%；
- b) 电源频率应在(50 Hz±2 Hz)范围内。

6.1.3 冷却

四综合系统可采用水冷却或风冷却。若为水冷却时，水质宜符合 GB/T 50050—2017 中 3.1.7 或 3.1.8 的规定，并且冷却水应满足以下要求：

- a) 水温：≤32 ℃；
- b) 水压：0.2 MPa~0.4 MPa。

6.2 性能指标

四综合试验系统的性能指标及其最大允许值应符合表 1 的规定。

表 1 四综合试验系统性能指标

序号	性能指标	单位	试验状态	最大允许值
1	温度偏差	℃	定频振动；常压	±2
			定频振动；极限低气压	按制造商与使用方双方协定
2	升温速率、降温速率	℃/min	定频振动；常压	按制造商与使用方双方协定
			定频振动；极限低气压	按制造商与使用方双方协定
3	相对湿度容许偏差	%	定频振动；常压下	±5
4	振动最大位移	mm	温变过程中；压力变化过程中	按制造商与使用方双方协定
			温变过程中；极限低气压下	按制造商与使用方双方协定
5	加速度幅值示值误差	%	定频振动；温度稳定状态	±10
6	加速度功率谱密度控制精度(稳态)	dB	温度稳定状态；振动台宽带随机振动、90%置信度；常压区	±2
7	加速度总均方根控制精度(稳态)	dB	温度稳定状态；振动台宽带随机振动、90%置信度；常压区	±1.5
8	加速度功率谱密度控制精度(动态)	dB	温度变化过程中；振动台宽带随机振动；气压变化过程中	±3
9	加速度总均方根控制精度(动态)	dB	温度变化过程中；振动台宽带随机振动；气压变化过程中	±3
10	极限低气压	kPa	稳态温度；定频振动	按制造商与使用方双方协定
11	气压偏差	kPa	RD ^a >25 kPa；温度稳定状态；定频振动	±2
			2 kPa<RD ^a ≤25 kPa 时；温度稳定状态；定频振动	±0.5

表 1 四综合试验系统性能指标（续）

序号	性能指标	单位	试验状态	最大允许值
11	气压偏差	kPa	0.4 kPa<RD ^a ≤2 kPa;温度 稳定状态;定频振动	±0.1
			0.1 kPa<RD ^a ≤0.4 kPa;温度 稳定状态;定频振动	±20%RD ^a
12	气压变化速率	kPa	温度稳定状态;定频振动	按制造商与使用方双方协定
^a RD 表示气压实际测量值,单位为千帕(kPa)。				

6.3 接口部件

6.3.1 密封和隔热要求

- 接口部件与试验箱或振动台连接处,应安装密封和隔热装置,且应具有良好的密封和隔热效果。
- a) 在极限高、低温稳态温度或极限低气压状态下运行时,接口部件周围应无明显漏水、漏气现象。
 - b) 四综合试验系统在高温运行时,接口部件周围的结构件(包括接口部件的外露部分、试验箱开孔周围结构件等)外露表面温度不宜高于 50℃。在低温运行时外露表面应无明显凝露现象。

6.3.2 运动要求

通过接口部件将振动台与试验箱连接后,当振动台工作时,试验箱箱体上的振动量级不应超过振动台设定量级的 8%。

6.3.3 振动工作台面中心位置控制精度

通过接口部件将振动台与试验箱连接后,在规定的频率范围内,振动工作台面中心位置控制精度应在±2 mm 范围内。

6.4 振动台

组成四综合试验系统的振动台,应符合 GB/T 13310—2007 的规定。

6.5 试验箱



组成四综合试验系统的试验箱,应符合 GB/T 11159—2010 的规定。

6.6 外观要求

四综合试验系统的外观应符合 GB/T 2611—2022 中第 10 章的规定。

7 检验方法

7.1 检验环境和条件

在 6.1 规定的环境与工作条件下进行检验。

7.2 检验用仪器和设备

检验用主要仪器和设备如下：

- a) 温湿度计；
- b) 真有效值数字电压表:交流电压测量最大允许误差 $\pm 0.2\%$ ；
- c) 动态信号分析仪:A级；
- d) 加速度计(含适调放大器):测量不确定度 $U_{rel}=2\%(k=2)$ ；
- e) 气压计(空气压力传感器):扩展不确定度不大于被测气压偏差的 $1/3$ ；
- f) 温度传感器:时间常数一般不大于 20 s ；
- g) 湿度传感器:精密度不大于 $\pm 5\% \text{ RH}$ ；
- h) 秒表:分辨率不大于 0.1 s ；
- i) 点温计:测量精度不大于 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

7.3 检验用负载

检验时若需要使用负载,则负载应满足下列条件。

- a) 负载的总质量按每立方米工作室容积内放置不大于 80 kg 。
- b) 负载的总体积不大于工作室容积的 $1/5$ 。
- c) 在垂直于主导风向的任意截面上,负载面积之和不大于该处工作室截面积的 $1/3$,负载放置时不阻塞气流的流动。
- d) 负载为金属材料制成的正圆柱体,其直径不大于振动试验分系统工作台面最大安装直径加上 6 倍的固定螺栓直径。推荐的厚度与直径之比大于 0.4 ,可通过改变制造负载所用的材料满足该比例要求。

7.4 温度和湿度检测

7.4.1 温度检测时,四综合试验系统的工作状态应同时满足以下要求:

- a) 振动台以固定频率(建议 5 Hz)系统能力范围内最大位移的方式进行正弦振动；
- b) 试验箱工作空间实际气压处于常压或标称最低气压值。

7.4.2 湿度检测时,四综合试验系统的工作状态应同时满足以下要求:

- a) 振动台以固定频率(建议 5 Hz)系统能力范围内最大位移的方式进行正弦振动；
- b) 试验箱工作空间实际气压处于常压。

7.4.3 温度和湿度传感器的布置如下。

- a) 在试验箱工作室内在定出上、中、下三个水平层面(简称上、中、下三层),上层与工作室顶面内壁的距离为工作室内腔高度的 $1/10$,中层通过工作室顶面与振动台工作台面距离的 $1/2$ 高度平面的中心点 O ,下层至试验箱底面内壁上方的距离为工作室内腔高度的 $1/10$,且/或距离振动台工作台面上方不小于 50 mm 处。
- b) 测量点分别位于上、中、下三层。温度测量点用英文字母 O 、 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 、 H 、 J 、 K 、 L 、 M 、 N 、 Q 、 U 表示。相对湿度测量点用字母 Oh 、 Dh 、 Oh 、 Lh 表示。
- c) 工作室容积不大于 2 m^3 时,温度测量点为 9 个,相对湿度测量点 3 个,位置见图3:

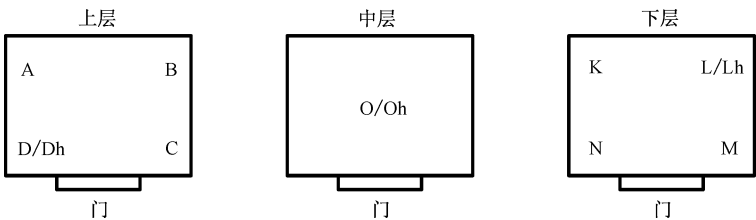


图 3 温度、湿度测量点分布(工作室容积不大于 2 m^3 时)

测量点 O、Oh 位于工作室顶面与振动台工作台面距离的 1/2 高度平面的几何中心点,其他各测量点与试验箱内壁的距离为各自边长的 1/10,但不小于 50 mm。

- d) 工作室容积大于 2 m^3 时,温度测量点为 15 个,相对湿度测量点 4 个,位置见图 4。

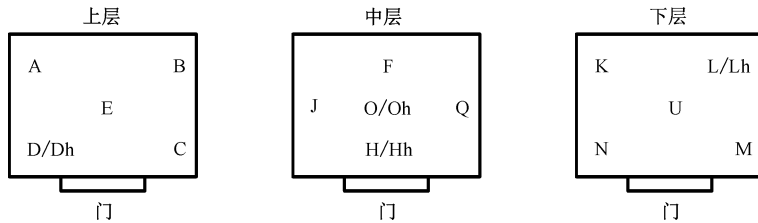


图 4 温度、湿度测量点分布(工作室容积大于 2 m^3 时)

测量点 E、O、Oh、U 分别位于工作室空间上、中、下层的几何中心点,当工作室各边长大于 500 mm 时,其他各测量点与试验箱内壁的距离为各自边长的 1/10。

- e) 当工作室各边长小于或等于 500 mm 时,距离取 50 mm,应记录在检验报告中。

7.4.4 温度测试方法。

7.4.4.1 根据试验箱工作室容积的大小,按照 7.4.3 的规定确定温度测试点,安装温度传感器。

7.4.4.2 振动台以固定频率(建议 5 Hz)系统能力范围内最大位移的方式进行正弦振动。

7.4.4.3 根据图 5 温度随时间变化的曲线,设定四综合试验系统温度试验程序,使工作空间的温度由室温升至高湿,到达高湿后保持 120 min,高温降至低温,低温保持 120 min,再升温,使温度按此四个阶段连续变化两次后回到室温。

7.4.4.4 在温度测试过程中,根据图 5 气压随时间变化的曲线,设定四综合试验系统气压试验程序:

- 使工作空间的气压在温度变化曲线初次“升温—高温保持—降温—低温保持”时,保持常压;
- 在初次由低温升高温时,以最大气压变化速率降压至极限低气压;
- 在温度变化曲线第二次“高温保持—降温—低温保持”时,保持极限低气压;
- 在温度变化曲线第二次“低温保持”结束后,以最大气压变化速率升压至常压。

7.4.4.5 在常压区,按如下要求进行测试:

- 自升温阶段开始,每 2 min 测量中心点的温度;
- 进入高温阶段后,待温度稳定 30 min 后,每隔 2 min 测量所有温度测量点的温度,在 30 min 内共测 16 次;
- 自降温阶段开始,每 2 min 测量中心点的温度;
- 进入低温阶段后,待温度稳定 30 min 后,每隔 2 min 测量所有温度点的值一次,在 30 min 内共测 16 次。

7.4.4.6 在低压区,按 7.4.4.5 中的步骤进行温度测试。

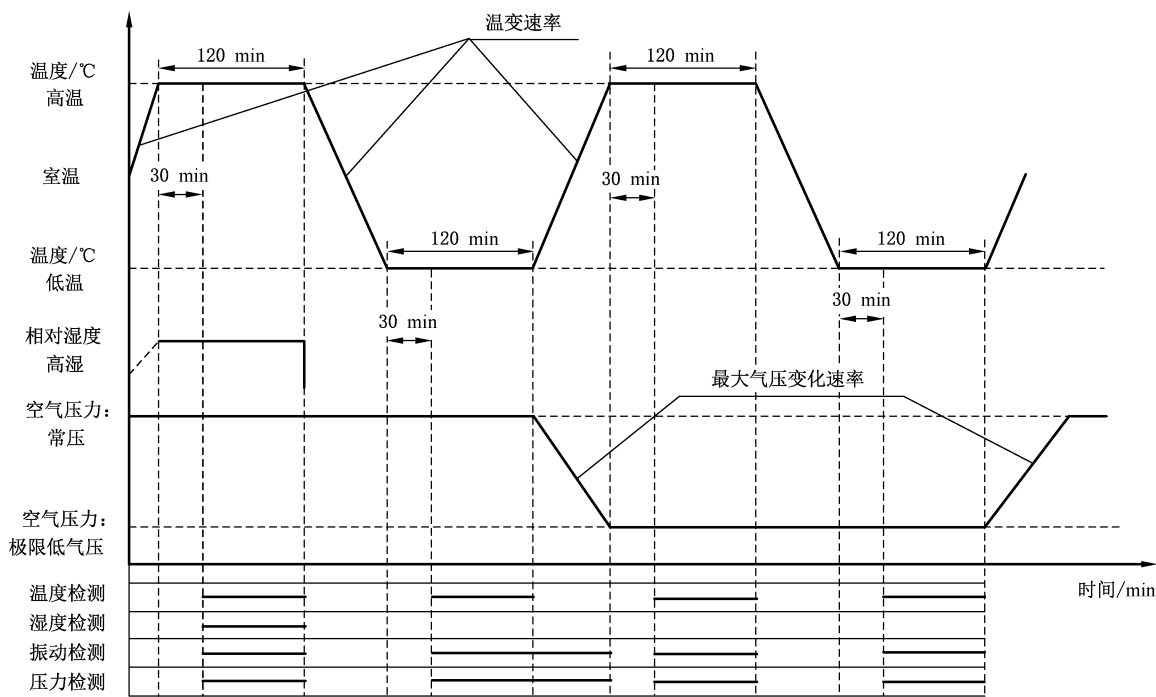


图 5 温度、湿度、振动、低气压试验过程

7.4.5 温度偏差的检测。

温度检测时,按照 7.4.1 的要求设定系统的工作状态,按照 7.4.3 的要求确定测量点数量及位置,按照 7.4.4 的方法进行测试,分别测得常压区和低压区 30 min 内的数据,按公式(1)和公式(2)分别计算最高温度 T_{\max} 和最低温度 T_{\min} 与标称温度 T_N 的上下偏差。

$$\Delta T_{\max} = T_{\max} - T_N \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- ΔT_{\max} —— 温度上偏差,单位为摄氏度(℃);
- T_{\max} —— 最高温度,单位为摄氏度(℃);
- T_N —— 标称温度,单位为摄氏度(℃)。

$$\Delta T_{\min} = T_{\min} - T_N \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- ΔT_{\min} —— 温度下偏差,单位为摄氏度(℃);
- T_{\min} —— 最低温度,单位为摄氏度(℃)。

7.4.6 升温速率及降温速率的检测。

检测时,按照 7.4.1 的要求设定系统的工作状态,按照 7.4.3 的要求确定测量点数量及位置,按照以下步骤进行试验:

- a) 将温度设定值设定为极限低温,系统开启冷源,使试验箱内温度由室温降到极限低温,至少稳定 30 min;
- b) 切断冷源,将温度设定值设定为极限高温,系统开启热源,工作空间中心点温度升到极限高温后,记录从低温升到高温的时间 t_2 ,并至少稳定 30 min;
- c) 切断热源,将温度设定值设定为极限低温,系统开启冷源,工作空间中心点温度降到极限低温后,记录从高温降到低温的时间 t_1 。

按公式(3)和公式(4)分别计算降温速率、升温速率:

$$\overline{V_{T1}} = \frac{|\Delta T|}{t_1} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$\overline{V_{T1}}$ ——降温速率,单位为摄氏度每分(°C/min);

ΔT ——高温与低温之差,单位为摄氏度(°C);

t_1 ——从高温降到低温的时间,单位为分(min)。

$$\overline{V_{T2}} = \frac{|\Delta T|}{t_2} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$\overline{V_{T2}}$ ——升温速率,单位为摄氏度每分(°C/min);

t_2 ——从低温升到高温的时间,单位为分(min)。

依次完成步骤 a)、b)和 c)为 1 个升-降温循环。根据实际需要选择试验的循环次数。

7.4.7 相对湿度容许偏差的检测。

7.4.7.1 检测时,按照 7.4.2 的要求设定系统的工作状态。

7.4.7.2 按照 7.4.3 的要求确定湿度测量点数量及位置,并布置湿度传感器。

7.4.7.3 相对湿度标称值通常根据试验箱温度和湿度的可调范围由双方协商确定,通常选取一个高温高湿值和一个低温低湿值。

以下确定相对湿度标称值的方法,供参考:

a) 高温高湿值:温度为 70 °C 时,相对湿度 95 %;

b) 低温低湿值:温度为 20 °C 时,相对湿度 40 %。

7.4.7.4 常压区,将试验箱的湿度稳定在 7.4.7.3 所规定的设定值,振动台以固定频率(建议 5 Hz)系统能力范围内最大位移的方式进行正弦振动。

在试验箱升温/降温的同时开始加湿/除湿,直到工作空间中几何中心点控制温度、湿度均达到设定值 30 min 后,每隔 2 min 记录一次几何中心点的相对湿度值和试验箱相对湿度指示仪表的指示值,共记录 16 次。根据最大相对湿度 H_{\max} 、最小相对湿度 H_{\min} 和相对湿度标称值 H_N ,按照公式(5)和公式(6)计算该温、湿度标称值下的相对湿度偏差:

$$\Delta H_{\max} = H_{\max} - H_N \dots\dots\dots (5)$$

式中:

ΔH_{\max} ——湿度上偏差, %;

H_{\max} ——最大相对湿度, %;

H_N ——相对湿度标称值, %。

$$\Delta H_{\min} = H_{\min} - H_N \dots\dots\dots (6)$$

式中:

ΔH_{\min} ——湿度下偏差, %;

H_{\min} ——最小相对湿度, %。

7.5 振动最大位移的检测

将加速度计刚性地固定在振动工作台面的中心,并将其输出接至动态信号分析仪。

按照 7.4.4.3 设置四综合试验系统温度试验程序,按照 7.4.4.4 设置四综合试验系统气压试验程序,分别在以下两种状态下进行测试:

a) 试验箱温度控制在升温阶段,箱内气压以最大变化速率降压,振动台空载以固定频率(建议 5 Hz),进行逐步增大设定位移的正弦振动,并通过动态信号分析仪测量此时的最大振动位移;

b) 试验箱温度控制在降温阶段,箱内气压在低压区,振动台空载以固定频率(建议 5 Hz)进行逐步增大设定位移的正弦振动,并通过动态信号分析仪测量此时的最大振动位移。
取两种状态测得最大振动位移的较小值作为最终测量结果。

7.6 加速度幅值示值误差的检测

将加速度计刚性地固定在振动工作台面的中心,并将其输出接至动态信号分析仪。
按照 7.4.4.3 设置四综合试验系统温度试验程序,按照下列方法进行试验和计算:

- a) 工作空间温度到达温度设定值至少 30 min,且处于温度稳定状态;
 - b) 试验箱内的压力设置为常压;
 - c) 在规定的工作频率范围内至少选择 1 个频率点,在所选频率上取大、中、小 3 个加速度,分别进行正弦振动;
 - d) 用动态信号分析仪测量台面中心加速度。
- 分别按公式(7)计算 3 个加速度状态下的加速度幅值示值误差 δ_a 。

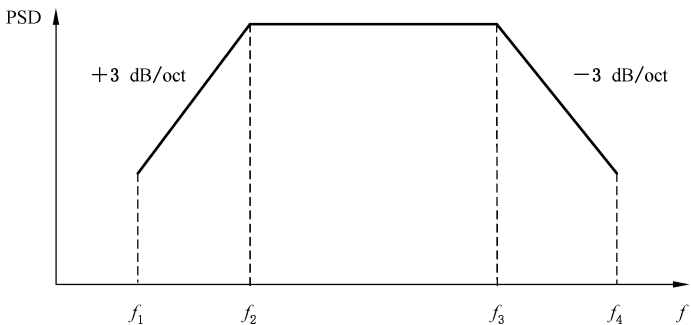
$$\delta_a = \frac{|a_s - a_b|}{a_b} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

式中:
 δ_a ——加速度幅值示值误差;
 a_s ——振动台加速度幅值示值,单位为米每二次方秒(m/s^2);
 a_b ——同次测量中用动态信号分析仪测得的加速度幅值,单位为米每二次方秒(m/s^2)。

7.7 随机振动控制精度的检测

将加速度计刚性地固定在振动工作台面的中心,并将其输出接至动态信号分析仪。
按照 7.4.4.3 设置四综合试验系统温度试验程序,按照下列方法进行试验和计算:

- a) 工作空间温度到达温度设定值至少 30 min,且处于温度稳定状态;
- b) 试验箱内的压力设置为常压;
- c) 按图 6 均方根和谱密度检定谱设置,随机振动在 90%置信度下,并均衡控制。检定用动态信号分析仪设置海宁窗函数,取足够的自由度(大于 120),在平直段上选定一个频率点,在连续的 10 min 内,每次测量取 5 个读数,每 2 min 测量 1 次,共测 5 次,每次测量并记录选定频率的功率谱密度 5 个读数的平均值,同时记录加速度总均方根 5 个读数的平均值:



标引符号说明:
PSD ——功率谱密度,单位为米每二次方秒的平方每赫兹 $[(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}]$;
 f ——频率,单位为赫兹(Hz);
dB/oct ——分频斜率的单位;
 f_1, f_2, f_3, f_4 ——试验系统选择的 4 个频率点,单位为赫兹(Hz)。

图 6 均方根和谱密度检定谱

按公式(8)和公式(9)分别计算加速度功率谱密度控制精度 C_{PSD} 和加速度总均方根控制精度 C_a ：

$$C_{\text{PSD}} = 10 \times \lg \frac{\text{PSD}}{\text{PSD}_0} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

C_{PSD} ——加速度功率谱密度控制精度，单位为分贝(dB)；

PSD ——检验仪器测定的加速度功率谱密度的平均值，单位为米每二次方秒的平方每赫兹 $[(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}]$ ；

PSD_0 ——目标谱加速度功率谱密度，单位为米每二次方秒的平方每赫兹 $[(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}]$ 。

$$C_a = 20 \times \lg \frac{a}{a_0} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

C_a ——加速度总均方根控制精度，单位为分贝(dB)；

a ——检验仪器测定的加速度总均方根的平均值，单位为米每二次方秒 (m/s^2) ；

a_0 ——目标谱加速度总均方根，单位为米每二次方秒 (m/s^2) 。

7.8 温度变化和压力变化过程中随机振动控制精度的检测

将加速度计刚性固定在振动工作台面的中心，并将其输出接至动态信号分析仪。

按照下列方法进行试验和计算。

a) 按图 7 设定试验箱的试验程序，进行温度变化和压力变化循环测试。

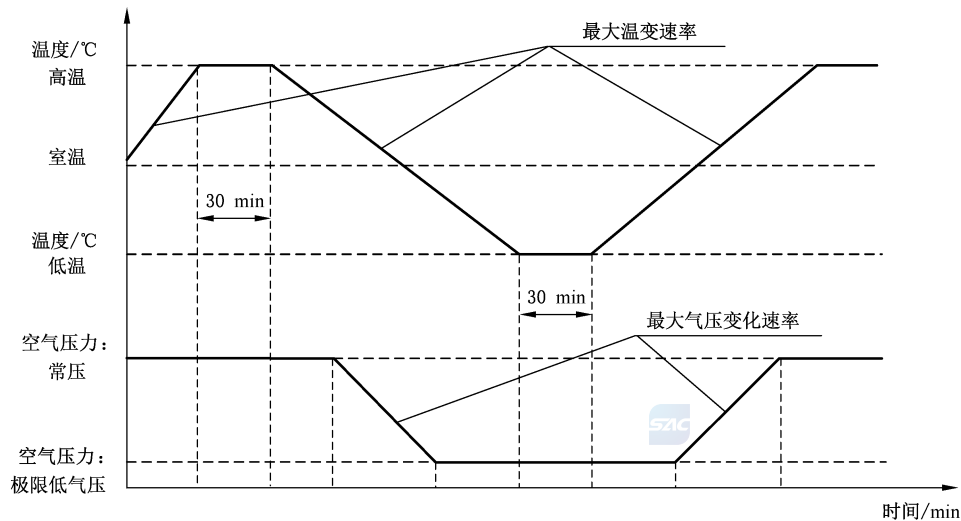


图 7 温度变化和压力变化过程中随机振动控制精度测定试验过程

b) 按图 6 设定振动台的参考谱，随机振动在 90% 置信度下，并均衡控制。检定用动态信号分析仪设置海宁窗函数，取足够的自由度(大于 120)。在平直段上选定一个频率点，进行振动。

c) 在温度和压力均处于变化的时间段内，在连续的 10 min 内，每次测量取 5 个读数，每 2 min 测量 1 次，共测 5 次，每次测量并记录选定频率的功率谱密度 5 个读数的平均值，同时记录加速度总均方根 5 个读数的平均值。

按公式(8)和公式(9)分别计算加速度功率谱密度控制精度 C_{PSD} 和加速度总均方根控制精度 C_a 。

7.9 极限低气压和气压偏差的检测

将气压计的传感器固定至气压偏差测试点位置，通常气压偏差测试点为试验箱的气压指示点。

按照 7.4.4.3 设置四综合试验系统温度试验程序,按照下列方法进行试验和计算:

- a) 工作空间温度到达温度设定值至少 30 min,且处于温度稳定状态;
- b) 振动台以固定频率(建议 5 Hz)系统能力范围内最大位移的方式进行正弦振动;
- c) 在试验箱气压可调范围内,选取最低的试验气压标称值 P_N ,使箱内的工作室空间实际气压从常压降至试验气压设定值,达到气压稳定状态(即工作空间内气压达到气压设定值并维持在规定的容差范围内)30 min 后,进行测量和记录,每隔 2 min 测试 1 次,共测 15 次。

根据测得数据,求得 15 次测得数据的平均值即为极限低气压值,按公式(10)和公式(11)计算气压偏差。

$$\Delta P_{\max} = P_{\max} - P_N \dots\dots\dots(10)$$

式中:
 ΔP_{\max} ——气压上偏差,单位为千帕(kPa);
 P_{\max} ——测得气压的最大值,单位为千帕(kPa);
 P_N ——试验气压标称值,单位为千帕(kPa)。

$$\Delta P_{\min} = P_{\min} - P_N \dots\dots\dots(11)$$

式中:
 ΔP_{\min} ——气压下偏差,单位为千帕(kPa);
 P_{\min} ——测得气压的最小值,单位为千帕(kPa);
 P_N ——试验气压标称值,单位为千帕(kPa)。

7.10 气压变化速率的检测

将气压计的传感器固定至气压偏差测试点位置,通常气压偏差测试点为试验箱的气压指示点。

按照 7.4.4.3 设置四综合试验系统温度试验程序,按照下列方法进行试验和计算:

- a) 工作空间温度到达温度设定值至少 30 min,且处于温度稳定状态;
- b) 振动台以固定频率(建议 5 Hz)系统能力范围内最大位移的方式进行正弦振动;
- c) 在试验箱气压可调范围内,选取最低的试验标称值,在试验箱开始降压时,记录从常压到试验气压的时间 t_1 ;然后使试验箱开始升压,记录从试验气压升至常压的时间 t_2 。

按公式(12)和公式(13)分别计算出降压和升压的平均速率:

$$\overline{V_{P1}} = \frac{|P_0 - P|}{t_1} \dots\dots\dots(12)$$

式中:
 $\overline{V_{P1}}$ ——降压平均变化速率,单位为千帕每分(kPa/min);
 P_0 ——常压,单位为千帕(kPa);
 P ——试验气压,单位为千帕(kPa);
 t_1 ——降压时间,单位为分(min)。

$$\overline{V_{P2}} = \frac{|P_0 - P|}{t_2} \dots\dots\dots(13)$$

$\overline{V_{P2}}$ ——升压平均变化速率,单位为千帕每分(kPa/min);
 P_0 ——常压,单位为千帕(kPa);
 P ——试验气压,单位为千帕(kPa);
 t_2 ——升压时间,单位为分(min)。

7.11 接口部件的检测

7.11.1 密封和隔热

振动台以固定频率(建议 5 Hz)最大位移的方式进行正弦振动,按照 7.4.4.3 设置四综合试验系统



温度试验程序,按照 7.4.4.4 设置四综合试验系统气压试验程序,按以下方法进行检测:

- a) 试验箱在其标称的极限高温、低温稳态温度和极限低气压状态下工作 30 min,目视检测接口周围有无漏水、漏气现象;
- b) 试验箱在极限高温稳定工作 30 min 后,用点温计测量接口部件外露表面和试验箱底板开孔周围结构件表面的温度;
- c) 试验箱在极限低温稳定工作 30 min 后,目视检查距离试验箱底板开孔外缘 100 mm 处结构件表面是否有凝露现象。

也可在 7.4、7.5、7.8、7.9、7.10 的试验过程中,按上述 a)、b)、c) 的步骤进行检测。

7.11.2 运动要求

按图 5 设定试验箱试验程序,按以下方法进行检测:

- a) 在试验箱底板离开孔外缘 100 mm 处,刚性连接加速度计;
- b) 设置振动台在规定的频率范围内(建议 5 Hz 至最大正弦振动频率),以最大特性曲线 50% 的振动量级、1 oct/min 扫频速率,进行正弦扫频试验;
- c) 记录试验箱箱体上的加速度响应曲线,在振动控制仪记录的试验箱底板上的传感器响应曲线中,找出最大加速度 a_{\max} 。

按公式(14)计算试验箱底板上加速度与振动台加速度的相对误差:

$$\delta_e = \frac{|a_{\max} - a_0|}{a_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

δ_e —— 相对误差;

a_{\max} —— 试验箱底板上的最大加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2);

a_0 —— 同一频率点振动台设定的加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2)。

7.11.3 振动工作台面中心位置控制精度

若四综合试验系统不带振动工作台面中心位置测量和显示装置,按方法一进行测试,若自带振动工作台面中心位置测量和显示装置,可按方法一进行测试并判定结果,亦可按方法二进行检测。

方法一:

- a) 将加速度传感器刚性地联接在工作台面的中心位置,在常压下,振动台以固定频率(建议 5 Hz)最大位移的方式进行正弦振动,测量并记录常压下振动工作台面的最大振动位移 A_0 (零-峰值);
- b) 按 7.5 测得四综合系统的振动最大位移 A_1 (零-峰值)。

按公式(15)计算振动工作台面中心位置控制精度:

$$\Delta A = A_0 - A_1 \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

ΔA —— 振动工作台面中心位置控制精度,单位为毫米(mm);

A_0 —— 常压下振动工作台面最大振动位移(零-峰值),单位为毫米(mm);

A_1 —— 四综合系统的振动最大位移,单位为毫米(mm)。

方法二:

- a) 振动台在规定的频率范围内(建议 20 Hz 至最大正弦振动频率)、以最大特性曲线 50% 的振动量级、1 oct/min 扫频速率进行正弦扫频试验;
- b) 试验箱分别以下列三种状态进行测试,按振动工作台面中心位置测量、显示装置的显示数值,记录整个过程中振动工作台面中心位置的偏移量:
—— 试验箱内气压为稳定标称最低气压;

- 按标称的最大气压变化速率升压；
- 按标称的最大气压变化速率降压。

该装置在整个测试过程中显示的最大偏移量即为振动工作台面中心位置控制精度。

注：振动工作台面中心位置测量、显示装置的校准方法见附录 A。

7.12 外观检查

目视检查四综合试验系统各部分的外观及外部标志。

8 检验规则

8.1 出厂检验

出厂检验项目见表 2。产品取得合格证方可出厂。

表 2 检验项目

序号	检验项目	型式检验	出厂检验	技术要求	检验方法
1	温度偏差	●	●	表 1 序号 1	7.4.5
2	升温速率、降温速率	●	●	表 1 序号 2	7.4.6
3	相对湿度容许偏差	●	—	表 1 序号 3	7.4.7
4	振动最大位移	●	●	表 1 序号 4	7.5
5	加速度幅值示值误差	●	●	表 1 序号 5	7.6
6	加速度功率谱密度控制精度(稳态)	●	●	表 1 序号 6	7.7
7	加速度总均方根控制精度(稳态)	●	●	表 1 序号 7	
8	加速度功率谱密度控制精度(动态)	●	—	表 1 序号 8	7.8
9	加速度总均方根控制精度(动态)	●	—	表 1 序号 9	
10	极限低气压	●	●	表 1 序号 10	7.9
11	气压偏差	●	●	表 1 序号 11	7.9
12	气压变化速率	●	●	表 1 序号 12	7.10
13	密封和隔热要求	●	●	6.3.1	7.11.1
14	运动要求	●	●	6.3.2	7.11.2
15	振动工作台面中心位置控制精度	●	●	6.3.3	7.11.3
16	外观	●	●	6.6	7.12
注：“●”为检验项目；“—”为不检验项目。					



8.2 型式检验

8.2.1 型式检验项目见表 2。

8.2.2 有下列情况之一应进行型式检验：

- a) 新产品试制或老产品转厂生产的定型鉴定或型式评价时；
- b) 产品正式生产后,其结构设计、材料、工艺及关键的配套元器件有较大改变,可能影响产品性能时；
- c) 产品长期停产后恢复生产时；
- d) 国家市场监督管理总局提出进行型式检验的要求时。

8.3 判定规则

8.3.1 对于出厂检验,如出现不合格项,则判定出厂检验不合格。

8.3.2 对于型式检验,如出现不合格项,则判定型式检验不合格。

9 标志与包装

9.1 标志

四综合试验系统应在适当的位置固定产品铭牌,铭牌内容包括:

- a) 产品型号、产品名称；
- b) 主要技术参数:升温速率、降温速率、极限低气压及气压变化速率；
- c) 制造日期；
- d) 出厂编号；
- e) 制造商名称或标志；
- f) 本文件编号和名称。

9.2 包装

9.2.1 四综合试验系统的包装箱应标示以下内容:

- a) 产品型号、产品名称、规格、数量；
- b) 箱体最大外形尺寸(cm):长×宽×高；
- c) 净重与毛重(kg)；
- d) 收货单位和收货地址；
- e) 制造商名称或标志。

9.2.2 四综合试验系统的包装箱为防水、防锈、防尘组合的复合防护包装。

9.2.3 四综合试验系统的包装应符合 JB/T 6147—2007 中 5.6.1、5.6.2、5.6.4 和 5.6.6 的规定。

9.2.4 四综合试验系统的包装储运图示标志应符合 GB/T 191 的规定。

10 随机文件

四综合试验系统应提供以下随机文件:

- a) 装箱单；
- b) 产品合格证；
- c) 使用说明书。

附 录 A
(资料性)

振动工作面中心位置测量、显示装置校准方法

振动工作面中心位置测量、显示装置校准用仪器设备包括：动态信号分析仪、加速度计等。

将加速度传感器刚性连接在工作台面的中心位置，在常压下，振动台选择 5 Hz、10 Hz、…、2 000 Hz 等若干个频率点进行振动，测量并记录工作频率下，最大振动位移 A_0 （零-峰值）及振动工作面中心位置测量和显示装置所显示的台面中心位置的最大偏移量 A_1 ，并将该偏移量与振动台的实际最大振动位移按公式(A.1)进行比较，即：

$$\Delta A = A_0 - A_1 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

ΔA ——振动工作面中心位置测量、显示误差，单位为毫米(mm)。

当振动工作面中心位置的测量、显示误差 ΔA 不大于要求的控制精度的 1/4，则该测量、显示装置符合要求。



参 考 文 献

- [1] GB/T 5170.1—2016 电工电子产品环境试验设备检验方法 第1部分:总则
 - [2] GB/T 10586—2006 湿热试验箱技术条件
 - [3] GB/T 10592—2023 高低温试验箱技术条件
-



