

ICS 49.020
V 35



中华人民共和国国家标准

GB/T 38924.6—2020

民用轻小型无人机系统环境试验方法 第6部分：振动试验

Environmental test methods for civil small and light unmanned aircraft system—
Part 6: Vibration test

2020-07-21 发布

2021-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 试验条件	1
3.1 受试设备	1
3.2 振动试验类别	1
3.3 标准振动试验条件	2
3.4 运输振动试验条件	3
4 试验设备和仪表	4
4.1 一般要求	4
4.2 控制容差要求	4
5 试验过程	4
5.1 随机振动试验过程	4
5.2 正弦振动试验过程	5
5.3 正弦叠加随机振动试验过程	5
6 试验中断和恢复	6
6.1 欠试验中断和恢复	6
6.2 过试验中断和恢复	6
7 试验结果评定	6
8 试验报告	6
附录 A (规范性附录) 振动试验条件	8



前 言

GB/T 38924《民用轻小型无人机系统环境试验方法》分为以下部分：

- 第1部分：总则；
- 第2部分：低温试验；
- 第3部分：高温试验；
- 第4部分：温度和高度试验；
- 第5部分：冲击试验；
- 第6部分：振动试验；
- 第7部分：湿热试验；
- 第8部分：盐雾试验；
- 第9部分：防水性试验；
- 第10部分：砂尘试验；

.....

本部分为 GB/T 38924 的第 6 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由全国航空器标准化技术委员会(SAC/TC 435)提出并归口。

本部分起草单位：中国航空综合技术研究所、海鹰航空通用装备有限责任公司、西北工业大学、深圳市科比特航空科技有限公司、西安爱生技术集团公司。

本部分主要起草人：游亚飞、杨宏、李敏伟、刘海龙、车嘉兴、胡应东、高凤杰、吴建军、刘骁、王达亮、卢致辉。

民用轻小型无人机系统环境试验方法

第 6 部分：振动试验

1 范围

GB/T 38924 的本部分规定了民用轻小型无人机(起飞重量为 0.25 kg~150 kg)系统(含飞行器和地面站)的振动试验要求和方法,包括试验条件、试验设备和仪表、试验过程、试验中断和恢复、试验结果评定和试验报告等。

本部分适用于在运输和使用过程中可能会经历振动环境的民用轻小型(最大起飞重量大于 0.25 kg 且不大于 150 kg)多旋翼无人机系统、固定翼无人机系统、无人直升机系统和车载式地面站,以此确定民用轻小型无人机系统是否能承受振动环境的影响。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 35018 民用无人驾驶航空器系统分类及分级

3 试验条件

3.1 受试设备

3.1.1 受试设备要求

受试设备应满足以下要求:

- 受试设备技术状态应与提交的产品资料内容相符;
- 受试设备数量应满足试验要求,受试设备数量至少为 1 套;
- 受试设备应有企业合格证等质量检验证明。

3.1.2 设备分类

按照 GB/T 35018 中的要求,按照构型将试验设备分为以下类别:

- 多旋翼无人机系统,确定为 A 类设备;
- 固定翼无人机系统,确定为 B 类设备;
- 无人直升机系统,确定为 C 类设备;
- 地面站(车载),确定为 D 类设备。

3.2 振动试验类别

不同设备类别、动力形式无人机系统的振动试验类别详见表 1。

表 1 振动试验类别

设备类别	动力形式	振动试验方式	振动试验分类	
多旋翼无人机系统	电动机	标准振动试验	随机、正弦扫频	
	涡轮发动机、 活塞式发动机		正弦叠加随机(已知频率)	
	组合/混合动力		随机(未知频率)	
固定翼无人机系统	电动机		按照组合/混合的类别,取包络	
	涡轮发动机、 活塞式发动机		正弦扫频	
	组合/混合动力		按照组合/混合的类别,取包络	
无人直升机系统	电动机		随机、正弦扫频	
	涡轮发动机、 活塞式发动机		正弦叠加随机(已知频率)	
	组合/混合动力		随机(未知频率)	
地面站(车载)	—		运输振动试验	按照组合/混合的类别,取包络
				整车(跑车)
			车上设备(跑车、随机)(推荐 800 km)	
注:按照 GB/T 35018 中动力形式分为电动机、活塞发动机、涡轮发动机、混合动力、火箭发动机、压缩空气驱动动力、其他等,本部分仅给出电动机、活塞发动机、涡轮发动机、混合动力等常用的动力形式。				

3.3 标准振动试验条件

3.3.1 随机振动环境试验条件

试验条件如下:

- 随机振动试验量值:以实测值为准,若无实测值可参考表 2;
- 试验轴向: X、Y、Z 三个轴向;
- 试验时间:每轴向 1 h 或相关文件规定时间。

3.3.2 正弦振动环境试验条件

试验条件如下:

- 正弦振动试验量值:以实测值为准,若无实测值可参考表 2;
- 试验轴向: X、Y、Z 三个轴向;
- 试验时间:每轴向 1 h 或相关文件规定时间。

3.3.3 正弦叠加随机振动环境试验条件

试验条件如下:

- 正弦叠加随机振动试验量值:以实测值为准,若无实测值可参考表 2;

- b) 试验轴向: X、Y、Z 三个轴向;
c) 试验时间: 每轴向 1 h 或相关文件规定时间。

表 2 标准振动试验量值

设备类别	动力形式	起飞重量/kg	振动类别	试验量值
多旋翼无人 机系统	电动机	0.25<最大起飞重量≤10	随机、正弦扫频	表 A.1、表 A.2
		10<最大起飞重量≤50	随机、正弦扫频	表 A.3、表 A.4
		50<最大起飞重量≤150	随机、正弦扫频	表 A.5、表 A.6
	涡轮发动机、 活塞式发动机	25<最大起飞重量≤150	正弦叠加随机(已知频率)	图 A.1、表 A.7
			随机(未知频率)	表 A.8
组合/混合动力	按照组合/混合动力的类别,取包络		—	
固定翼无人 机系统	电动机	0.25<最大起飞重量≤25	正弦扫频	表 A.9
		25<最大起飞重量≤150	正弦扫频	
	涡轮发动机、 活塞式发动机	25<最大起飞重量≤150	正弦扫频	表 A.10
	组合/混合动力	按照组合/混合的类别,取包络		—
无人直升机 系统	电动机	50<最大起飞重量≤150	随机、正弦扫频	表 A.5、表 A.6
	涡轮发动机、 活塞式发动机	50<最大起飞重量≤150	正弦叠加随机(已知频率)	图 A.1、表 A.7
			随机(未知频率)	表 A.8
组合/混合动力	按照组合/混合的类别,取包络		—	
地面站 (车载)	—	整车(跑车)		—
		车上设备(跑车、随机)(推荐 800 km)		表 A.11

3.4 运输振动试验条件

3.4.1 随机振动环境试验条件

试验条件如下:

- a) 随机振动试验量值: 以实测值为准,若无实测值可按照附录 A 的表 A.11 进行;
b) 试验轴向: X、Y、Z 三个轴向;
c) 试验时间: 货车或卡车每进行 1 600 km 公路运输,每轴向振动持续时间为 60 min。

3.4.2 跑车试验条件

在选定的路面上,将地面设备装在运输车上,以一定速度行驶若干次,用来模拟不同路面上的振动情况。跑车的路面和距离按照实际情况确定。

4 试验设备和仪表

4.1 一般要求

振动试验应满足下列一般要求：

- a) 在试验期间受试设备的安装应确保其输入振动运动的方向平行于3个主正交轴向之一。所用的任何试验夹具其刚性和对称性均应和实际情况一样。受试设备应通过设备规范规定的方式连接在夹具或振动台台面上。对外部装有减振器/缓冲器的设备,应装上减振器/缓冲器进行试验。
- b) 如有要求,应在经受振动试验的受试设备上安装加速度计,以测量和记录受试设备在规定振动轴向的振动响应,确定其共振频率和放大系数。选定的安装位置可以包括主要的结构、印制电路板、大的元件和模块等任何可行的位置。
- c) 对于每个试验轴向,控制加速度计均应安装在试验夹具上尽可能靠近受试设备安装点的位置。当使用超过1个加速度计进行试验量值控制时,对于正弦试验,应使用各个加速度计控制信号的平均值作为试验量值的控制值,而对于随机试验,应使用各个加速度功率谱密度信号的平均值作为试验量值的控制值。对于所有振动输入类型,应使用适当的谱图或加速度功率谱密度图来验证控制量值满足试验量值要求。
- d) 随机振动信号应具有高斯分布,控制信号的瞬时振动加速度峰值可限制在3倍的均方根(Grms)加速度量值以内。
- e) 测量正弦加速度的仪器系统的精度应为:加速度 $\pm 10\%$,频率 $\pm 2\%$ 。
- f) 如果随机振动试验要求超出了振动试验系统的功率能力,试验可以分别在10 Hz~600 Hz和600 Hz~2 000 Hz分频带进行。规定的试验时间将用于每个分频带。

4.2 控制容差要求

4.2.1 随机输入控制容差要求

试验控制信号的加速度功率谱密度,在50 Hz以下偏离规定要求不应超过 ± 3 dB或者 -1.5 dB,500 Hz~2 000 Hz范围内不应超过 ± 3 dB。控制信号的总均方根(Grms)量值应控制在规定加速度功率谱密度曲线的总均方根值的 $+20\%$ ~ -5% 范围内。

4.2.2 正弦输入控制容差要求

对于正弦输入曲线,在规定的频率范围内,其加速度试验量值的控制值应限制在规定量值的 $\pm 10\%$ 范围内。

5 试验过程

5.1 随机振动试验过程

5.1.1 试验准备

将被试品通过专用夹具直接固定在振动台工作台上,并安装传感器,其中将控制传感器安装在被试品与夹具的连接处附近,监测传感器安装在受试设备上。对受试设备进行全面的外观检查,其任何内

部或外部部件均不得出现明显的结构损坏,并按有关技术文件规定对受试设备进行功能/性能检测,记录检测结果。

5.1.2 试验步骤

试验步骤如下:

- a) 使受试设备处于工作状态,按表 2 中试验量值和谱形对受试设备进行试验,每轴向进行 1 h 或相关文件规定时间。在振动过程中,应按有关技术文件规定,对受试设备功能/性能进行检测,确认受试设备性能参数是否满足有关规范要求。
- b) 受试设备 3 个正交轴向的每个轴向按步骤 a) 的次序进行试验。

5.1.3 试验后检测

对受试设备进行全面的外观检查,其任何内部或外部部件均不得出现明显的结构损坏,并按有关技术文件规定对受试设备进行功能/性能检测,记录检测结果。

5.2 正弦振动试验过程

5.2.1 试验准备

将受试设备通过专用夹具直接固定在振动台工作台上,并安装传感器,其中将控制传感器安装在受试设备与夹具的连接处附近,监测传感器安装在受试设备上。对受试设备进行全面的外观检查,其任何内部或外部部件均不得出现明显的结构损坏,并按有关技术文件规定对受试设备进行功能/性能检测,记录检测结果。

5.2.2 试验步骤

试验步骤如下:

- a) 使受试设备处于工作状态,并进行正弦扫频循环,扫频时在整个频率范围中改变振动频率,使其从最低频率到最高频率(上扫),再到最低频率(下扫),扫频使用的对数扫描速率不得超过 1 oct/min。在进行第 1 次上扫时,记录选定位置的加速度响应曲线,确定关键频率。关键频率确定为如下频率:
 - 1) 具有峰值加速度幅值大于 2 倍的输入加速度幅值的机械振动共振频率;
 - 2) 使产品性能或结构产生明显变化的频率(不管该变化是否超出性能标准要求)。
- b) 继续使产品处于工作状态,进行正弦振动扫频循环,每轴向进行 1 h 或相关文件规定时间。在试验期间记录发生的任何关键频率变化。在振动过程中,应按有关技术文件规定,对受试设备功能/性能进行检测,确认受试设备性能参数是否满足有关规范要求。
- c) 受试设备 3 个正交轴向的每个轴向按步骤 a) 和 b) 的次序进行试验。

5.2.3 试验后检测

对受试设备进行全面的外观检查,其任何内部或外部部件均不得出现明显的结构损坏,并按有关技术文件规定对受试设备进行功能/性能检测,记录检测结果。

5.3 正弦叠加随机振动试验过程

5.3.1 试验准备

将被试品通过专用夹具直接固定在振动台工作台上,并安装传感器,其中将控制传感器安装在被

试品与夹具的连接处附近,监测传感器安装在受试设备上。对受试设备进行全面的外观检查,其任何内部或外部部件均不得出现明显的结构损坏,并按有关技术文件规定对受试设备进行功能/性能检测,记录检测结果。

5.3.2 试验步骤

试验步骤如下:

- a) 使受试设备处于工作状态,对受试设备施加表 2 确定的试验量值和试验曲线,每轴向进行 1 h 或相关文件规定时间。试验期间,应按有关规范规定,对受试设备进行功能/性能检测,确定其在振动期间是否符合设备性能标准要求。所用的控制输入振动量值应具有附录 A 确定的正弦频率和宽带随机试验量值叠加后的频率内容。正弦频率应以不超过 1 oct/min 的对数扫描速率从 $0.9f_0$ 到 $1.1f_0$ 之间变化。

注: f_0 为试验谱的正弦频率。

- b) 受试设备 3 个正交轴向的每个轴向按步骤 a) 的次序进行试验。

5.3.3 试验后检测

对受试设备进行外观检查,其任何内部或外部部件均不应出现明显的结构损坏;再使受试设备工作,并按有关规范规定,对其功能/性能进行检测,确定其是否符合设备性能标准要求。

6 试验中断和恢复

6.1 欠试验中断和恢复

当试验条件低于允差下限时,应从低于试验条件的点重新达到规定的试验条件,恢复试验直至结束。



6.2 过试验中断和恢复

当试验条件超过允差上限时,宜停止试验,用新的受试设备重新试验。若分析确认受试设备未损坏,且证明过试验条件对该受试设备没有任何影响,则按照 6.1 处理继续试验。

7 试验结果评定

受试设备在试验前、中、后的功能/性能测试结果和试验前、后的外观检查结果满足产品有关文件规定时,表明受试设备能够承受第 3 章规定的振动试验条件,受试设备振动试验合格。

8 试验报告

除另有规定外,试验报告应至少包括以下内容:

- a) 受试设备型号、名称、组成、数量及供应商信息;
- b) 受试设备安装照片;
- c) 试验依据;
- d) 试验程序及试验条件;
- e) 试验日期、地点、人员;

- f) 试验设备及测试设备；
- g) 试验过程；
- h) 试验参数控制数据；
- i) 受试设备外观和功能/性能检测数据；
- j) 试验结果或结论；
- k) 存在问题与建议。



附 录 A
(规范性附录)
振动试验条件

表 A.1~表 A.11 给出了民用轻小型无人机(起飞重量为 0.25 kg~150 kg)系统(含飞行器和地面站)振动试验条件参考量值。图 A.1 给出了多旋翼无人机(涡轮发动机、活塞式发动机),无人直升机(涡轮发动机、活塞式发动机)正弦叠加随机振动试验曲线。

对于质量>22.5 kg 的设备,允许将试验曲线中 60 Hz 以上频带的量值进行降低,量值降低要求如下:当质量>22.5 kg 时,每增加质量 0.5 kg,其随机、正弦试验量值均减少 0.1 dB,最大减少量为 6 dB。(注意 6 dB 的衰减为将随机量值减为初始值的 1/4,正弦量值减为初始值的 1/2)。

表 A.1 多旋翼无人机(电动机,0.25 kg<最大起飞重量≤10 kg)随机振动试验量值

频率 Hz	功率谱密度 g^2/Hz	频率 Hz	功率谱密度 g^2/Hz
30	0.01	850	0.002
100	0.06	1 000	0.002

表 A.2 多旋翼无人机(电动机,0.25 kg<最大起飞重量≤10 kg)正弦扫频试验量值

频率 Hz	振幅 g	扫频速率 oct/min
30	2	1
100	5	
850	0.8	
1 000	0.8	

表 A.3 多旋翼无人机(电动机,10 kg<最大起飞重量≤50 kg)随机振动试验量值

频率 Hz	功率谱密度 g^2/Hz	频率 Hz	功率谱密度 g^2/Hz
10	0.001	600	0.000 2
100	0.03	1 000	0.000 2

表 A.4 多旋翼无人机(电动机,10 kg<最大起飞重量≤50 kg)正弦扫频试验量值

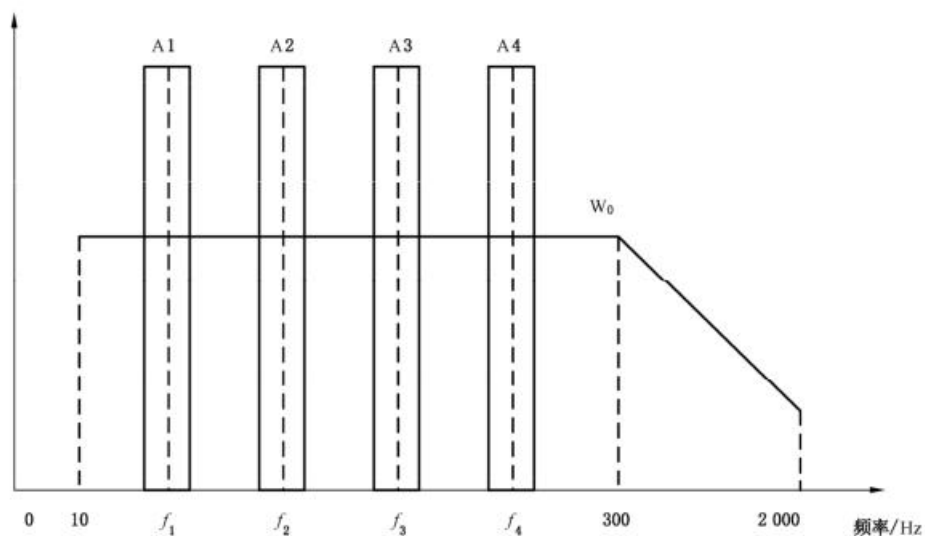
频率 Hz	振幅 g	扫频速率 oct/min
10	0.4	1
100	3.0	
600	0.2	
1 000	0.2	

表 A.5 多旋翼无人机(电动机、50 kg<最大起飞重量≤150 kg)、无人直升机
(电动机、50 kg<最大起飞重量≤150 kg)随机振动试验量值

频率 Hz	功率谱密度 g^2/Hz	频率 Hz	功率谱密度 g^2/Hz	频率 Hz	功率谱密度 g^2/Hz
10	0,012	100	0,002	2 000	0,000 13
40	0,012	500	0,002	—	—

表 A.6 多旋翼无人机(电动机、50 kg<最大起飞重量≤150 kg)、无人直升机
(电动机、50 kg<最大起飞重量≤150 kg)正弦扫频试验量值

频率 Hz	振幅	扫频速率 oct/min
15	0,25 mm	1
55	0,25 mm	
500	1,5 g	



注： W_0 为随机 PSD 曲线，单位为 g^2/Hz ；A1~A4 为正弦曲线，单位为 g ；振动频率、振动量值详见表 A.7。

图 A.1 多旋翼无人机(涡轮增压发动机、活塞式发动机)、无人直升机
(涡轮增压发动机、活塞式发动机)正弦叠加随机振动试验曲线

表 A.7 多旋翼无人机(涡轮发动机、活塞式发动机)、无人直升机(涡轮发动机、活塞式发动机)
已知频率正弦叠加随机振动试验量值

正弦量值	试验频率范围 Hz	$3 < f_n \leq 10$	$10 < f_n \leq 20$	$20 < f_n \leq 40$	$40 < f_n \leq 200$	$200 < f_n \leq 2\ 000$
	正弦试验量值 g	$0.04 \times f_n$	$0.04 \times f_n$	$0.04 \times f_n$	—	—
随机量值	试验频率范围 Hz	10~2 000	—	—	—	—
	随机试验量值 g^2/Hz	0.01	—	—	—	—

注：当 $n=1$ 时, f_1 为一阶主旋翼通过频率；
当 $n=2$ 时, f_2 为 2 倍的一阶主旋翼通过频率；
当 $n=3$ 时, f_3 为一阶尾桨桨叶通过频率(若无人机带尾桨)；
当 $n=4$ 时, f_4 为 2 倍的一阶尾桨桨叶通过频率(若无人机带尾桨)。

表 A.8 多旋翼无人机(涡轮发动机、活塞式发动机)、无人直升机(涡轮发动机、活塞式发动机)
未知频率随机试验量值

频率 Hz	功率谱密度 g^2/Hz	频率 Hz	功率谱密度 g^2/Hz
5	0.005	200	0.05
40	0.05	300	0.01

表 A.9 固定翼无人机(电动机, $0.25\text{ kg} < \text{最大起飞重量} \leq 150\text{ kg}$) 正弦扫频振动试验量值

频率	双振幅	扫频速率
15 Hz	0.25 mm	1 oct/min
55 Hz	0.25 mm	
500 Hz	1.5 g	

表 A.10 固定翼无人机(涡轮发动机、活塞式发动机, $25\text{ kg} < \text{最大起飞重量} \leq 150\text{ kg}$)
正弦扫频振动试验量值

频率	双振幅	扫频速率
15 Hz	0.5 mm	1 oct/min
55 Hz	0.5 mm	
500 Hz	3 g	

表 A.11 运输振动试验条件

坐标轴名称	频率 Hz	功率谱密度 g^2/Hz
垂直轴 Y	10	0.015
	40	0.015
	500	0.000 15
横侧轴 Z	10	0.000 13
	20	0.000 65
	30	0.000 65
	78	0.000 02
	79	0.000 19
	120	0.000 19
	500	0.000 01
纵向轴 X	10	0.006 5
	20	0.006 5
	120	0.000 2
	121	0.003
	200	0.003
	240	0.001 5
	340	0.000 03
	500	0.000 15

