

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

# T/CASME

团 体 标 准

T/CASME XXXX—XXXX

## 低空飞行器地面静态试验规范

Specification for ground static test of low-altitude aircraft

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国中小商业企业协会 发布

## 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 试验内容 .....	1
5 试验条件 .....	1
6 外观与尺寸试验 .....	2
7 质量与重心试验 .....	3
8 结构强度试验 .....	3
9 动力系统试验 .....	4
10 电气系统试验 .....	4
11 电磁兼容性试验 .....	5
12 功能有效性试验 .....	5
13 环境适应性试验 .....	6
14 试验报告 .....	7

## 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。

本文件由××××提出。

本文件由××××归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 低空飞行器地面静态试验规范

## 1 范围

本文件规定了低空飞行器地面静态试验的术语和定义、试验内容、试验条件、各项试验内容的试验方法与通过标准、试验报告。

本文件适用于低空飞行器地面静态试验的开展。

## 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 2611—2007 试验机通用技术要求

GB/T 16491—2008 电子式万能试验机

GB/T 38909—2020 民用轻小型无人机系统电磁兼容性要求与试验方法

GB/T 38924.1—2020 民用轻小型无人机系统环境试验方法 第1部分：总则

GB/T 38924.5—2020 民用轻小型无人机系统环境试验方法

GB 42590—2023 民用无人驾驶航空器系统安全要求

HB 7713—2002 飞机结构静强度试验通用要求

HB 8732—2023 民用轻小型无人机系统地面滑行试验方法

《低空空域使用管理规定》

## 3 术语和定义

### 3.1

**低空飞行器** low-altitude aircraft

低空飞行器，是指主要运行于中国民用航空管理部门界定的真高 1000 米以下低空空域（特殊场景可依据空域管理权限批复调整运行空域），具备人工或自动可控动力飞行能力，依托空气动力或反作用力实现升力获取、姿态稳定与轨迹控制，可执行载人运输、货物运输、工业作业、公共服务等特定任务的飞行器总称。其飞行模态涵盖悬停、平飞、起降等，不具备高空长航程洲际飞行及跨洋飞行能力。

### 3.2

**地面静态试验** ground static test

飞行器在不离开地面的状态下，对其结构、功能、性能等进行的各项测试和验证。

## 4 试验内容

低空飞行器地面静态试验的项目主要有：

- 外观与尺寸：包括外观完整性、尺寸偏差、表面质量；
- 质量与重心检测：包括整机质量检测、重心位置检测；
- 结构强度试验：包括静态载荷测试、跌落测试；
- 动力系统试验：包括启动性能测试、动力耐久测试；
- 电气系统试验：包括绝缘电阻测试、电池系统测试、控制回路测试；
- 电磁兼容性试验：包括辐射骚扰测试、抗扰度测试；
- 功能有效性试验：包括导航定位测试、通信测试、安全系统测试；
- 环境适应性试验：包括温湿度环境测试、密封性测试。

## 5 试验条件

## 5.1 环境条件

试验环境按照GB/T 38924.1—2020，在下述环境中进行：

- 试验温度的要求：
  - 常规试验温度：15℃~35℃；
  - 环境适应性试验：-10℃~+40℃。
- 相对湿度：20%~80%；
- 压力：84 kPa~107 kPa；
- 光照强度：室内 $\geq 500$  lux，室外避免阳光直射；
- 背景噪声： $\leq 60$  dB；
- 电磁环境：空间隔离与干扰源控制。地面大功率测试设备（电源、功放）与无人机机身距离 $\geq 30$ m；开阔场地测试区与大型金属结构/电磁反射体距离 $\geq 50$ m；地面静态测试台与高架输电站/变电站距离 $\geq 200$ m，测试期间禁止在隔离区内启动高压设备；工业高频设备（焊接、等离子切割）与地面测试区距离 $\geq 100$ m，测试期间禁止运行。

## 5.2 场地要求

试验场地应符合下列要求：

- 坚固平整地基，承重能力不低于测试产品最大重量的3倍；
- 具备良好通风条件，场地面积 $\geq 20$  m<sup>2</sup>；
- 防静电地板，接地电阻 $\leq 4$   $\Omega$ 。

## 5.3 试验设备

所有试验测试仪器设备需经计量检定合格并在检定有效期内，使用前进行校准确保各项指标符合测试要求，试验设备有：

- 称重设备：量程不小于飞行器最大起飞重量的1.5倍，精度 $\pm 0.1\%$  FS；
- 三坐标测量机：测量范围覆盖飞行器最大尺寸，精度 $\pm 0.02$  mm；
- 激光测距仪：精度 $\pm 0.01$  mm；
- 力学加载装置：液压/电动设备加载精度 $\pm 0.5\%$  FS，静态额定载荷 $\geq$ 测试最大载荷的1.2倍，动态额定载荷 $\geq$ 测试最大载荷的1.1倍，峰值载荷能力 $\geq$ 静态额定载荷的1.5倍；
- 振动测试系统：频率范围0 Hz~2000 Hz，精度 $\pm 0.5\%$ ；
- 绝缘电阻测试仪：量程0 M $\Omega$ ~1000 M $\Omega$ ，测试电压500 V；
- 电磁干扰测试仪：频率范围30 MHz~1 GHz；
- 干扰模拟设备：接触放电 $\pm 8$  kV，空气放电 $\pm 15$  kV；
- 飞控数据记录系统：能与飞行控制器直接通信，实时记录所有传感器数据和控制指令；
- 遥控信号测试仪：信号强度测量范围0 dBm~100 dBm，精度 $\pm 1$  dBm；
- 舵机测试仪：角度测量精度 $\pm 0.1^\circ$ ；
- 燃油/电池性能测试仪：燃油消耗精度 $\pm 0.1$  L/h，电池容量精度 $\pm 1\%$ ；
- 恒温恒湿系统：温度范围-40℃~+85℃，湿度20%~95%；
- 数据记录仪：32通道，采样率100 kHz，精度 $\pm 0.1\%$ 。

## 6 外观与尺寸试验

### 6.1 外观完整性

#### 6.1.1 试验方法

采用目视观察结合手感触摸的方式，检查机身、机翼、尾翼、起落架等结构件有无裂纹、变形、破损、掉漆等缺陷；连接件（螺栓、铆钉等）有无松动、缺失。

#### 6.1.2 通过标准

机身、机翼、尾翼、起落架等结构件无裂纹、变形、破损、掉漆，连接件（螺栓、铆钉等）无松动、缺失。

## 6.2 尺寸偏差

### 6.2.1 试验方法

使用激光测距仪或三坐标测量机，按设计文件规定的测量点进行测量，每个尺寸测量3次，取平均值。

### 6.2.2 通过标准

关键尺寸偏差 $\leq$ 设计值的 $\pm 2\%$ ，非关键尺寸偏差 $\leq$ 设计值的 $\pm 5\%$

## 6.3 表面质量

### 6.3.1 试验方法

采用目视观察结合手感触摸的方式，检查电气接口、传感器安装位置有无松动、腐蚀；线缆布置是否整齐，有无破损、老化、缠绕。

### 6.3.2 通过标准

电气接口、传感器安装位置无松动、腐蚀；线缆布置整齐，无破损、老化、缠绕

## 7 质量与重心试验

### 7.1 整机质量

#### 7.1.1 试验方法

将飞行器平稳放置在称重设备上，待数据稳定后记录数值，空载、满载状态分别测量3次，取平均值。

#### 7.1.2 通过标准

整机质量在设计文件规定的允许范围内，测量误差 $\leq \pm 1\%$ 。

### 7.2 重心位置

#### 7.2.1 试验方法

将飞行器支撑在三个已知坐标的称重传感器上，计算重心三维坐标，每个载荷状态测量2次，取平均值。

#### 7.2.2 通过标准

重心位置在设计限值范围内，不同载荷状态下重心偏移量 $\leq$ 设计值的 $\pm 3\%$ 。

## 8 结构强度试验

### 8.1 静态载荷测试

#### 8.1.1 试验方法

按照下列步骤进行测试：

- 通过液压加载装置，按设计文件规定的载荷方向和大小逐步施加静载荷，加载速率不超过 50 N/s；
- 在结构关键部位粘贴应变片，使用数据记录仪实时记录应力、应变数据，加载至设计载荷的 1.2 倍，保持 30s 后卸载。
- 卸载后检查结构是否有永久变形、裂纹等损伤，记录最大应力值与设计限值比对。

### 8.1.2 通过标准

应力应变与载荷呈线性关系且无非线性突变（非线性偏差 $\leq 5\%$ ）；金属应力 $\leq$ 屈服强度 90%、残余应变 $\leq 0.2\%$ ，无裂纹变形及连接松动；复材应力 $\leq$ 极限强度 80%、残余应变 $\leq 0.1\%$ ，无分层脱胶、纤维断裂；卸载后结构均无超标永久变形。

## 8.2 跌落测试

### 8.2.1 试验方法

低空飞行器 $\leq 25\text{kg}$ 空机重量时，按GB42590-2023的要求进行10m 高度垂直自由跌落，电池 30%  $\pm 2\%$  电量，加载速率 $\leq 50\text{N/s}$ ；

低空飞行器 $> 25\text{kg}$ 空机重量时，按GB/T 38924.5-2020的要求进行1.5m高度定向跌落，冲击加速度 $\leq$ 设计限值。

### 8.2.2 通过标准

低空飞行器（空机重量 $\leq 25\text{kg}$ ），10m跌落测试后，电池无起火/ 爆炸/ 漏液，静置 24h 温度正常；

低空飞行器（空机重量 $> 25\text{kg}$ ），1.5m跌落测试后，电池无起火/ 爆炸/ 漏液，静置 24h 温度正常；核心功能（起飞、悬停、导航）正常，关键参数衰减 $\leq 20\%$ ；金属机身无裂纹、变形及连接松动，复材无分层、脱胶、纤维断裂，无超标永久变形。

## 9 动力系统试验

### 9.1 启动性能测试

#### 9.1.1 试验方法

按照产品操作手册启动发动机或电机，连续启动10次，记录启动成功次数和平均启动时间。

#### 9.1.2 通过标准

启动成功率 $\geq 90\%$ ，平均启动时间 $\leq$ 设计值的1.1倍。

### 9.2 动力耐久测试

#### 9.2.1 试验方法

按照下列步骤进行测试：

- 在标准负载下启动动力系统，使其在最大连续功率状态下运行；
- 记录从启动到运行 30 min 内的电机温度、电流、电压及振动数据；
- 检查电机、电调、螺旋桨等部件是否异常。

#### 9.2.2 通过标准

温升 $< 75\text{K}$ ，电调不过热保护，螺旋桨无可见变形。

## 10 电气系统试验

### 10.1 绝缘电阻测试

#### 10.1.1 试验方法

按照下列步骤进行测试：

- 使用绝缘电阻测试仪，施加 500 V 直流电压（动力回路）或 250V 直流电压（控制回路）；
- 持续 60 s 后读取电阻值。

#### 10.1.2 通过标准

动力回路电阻 $\geq 100\text{ M}\Omega$ ，控制回路电阻 $\geq 50\text{ M}\Omega$ ，且无短路、漏电现象。

## 10.2 电池系统测试

### 10.2.1 试验方法

按照下列步骤进行测试：

- 在标准负载下，给电池充电至最大容量，后放电；
- 重复充电放电过程 3 次；
- 记录实际电容、充放电过程中的电压、电流和温度变化。

### 10.2.2 通过标准

实际电容不低于额定容的 80%，充放电过程中无过热、膨胀现象。

## 10.3 控制回路测试

### 10.3.1 试验方法

按照下列步骤进行测试：

- 操作遥控器发送控制指令；
- 通过舵机测试仪测量响应时间和舵机转动角度；
- 每个指令测试 5 次，取平均值

### 10.3.2 通过标准

控制指令响应时间 $\leq 0.2\text{ s}$ ，舵机转动角度偏差 $\leq \pm 0.5^\circ$ 。

## 11 电磁兼容性试验

### 11.1 辐射骚扰测试

#### 11.1.1 试验方法

在电波暗室中，使用电磁干扰测试仪测量 30 MHz~1 GHz 频段辐射骚扰值；

#### 11.1.2 通过标准

辐射强度限值 $\leq 40\text{ dB}\mu\text{V/m}$ 。

### 11.2 抗扰度测试

#### 11.2.1 试验方法

按照下列步骤进行测试：

- 使用干扰模拟设备对金属外壳施加 $\pm 8\text{ kV}$ 接触放电，对非金属表面施加 $\pm 15\text{ kV}$ 空气放电；
- 使用飞控数据记录系统记录所有传感器数据的异常波动，以及飞控计算机的运算负载率和重启事件；
- 测试后，按照 10.1 测量绝缘电阻。

#### 11.2.2 通过标准

应符合下列要求：

- 允许 $< 1\text{ s}$ 的数据波动，无失控或重启；
- 动力回路电阻 $\geq 100\text{ M}\Omega$ ，控制回路电阻 $\geq 50\text{ M}\Omega$ ，且无短路、漏电现象；
- 飞行器结构无损伤、变形或松动。

## 12 功能有效性试验

### 12.1 导航定位测试

### 12.1.1 试验方法

按照下列步骤进行测试：

- 将飞行器放置在开阔场地，接收 GPS/北斗信号；
- 记录 10 min 内的定位偏差；
- 计算最大偏差值和平均偏差值。

### 12.1.2 通过标准

导航定位最大偏差 $\leq 3$  m，平均偏差 $\leq 1$  m。

## 12.2 通信测试

### 12.2.1 试验方法

按照下列步骤进行测试：

- 开阔场地定点测试通信连接状态，发送 10~6 帧数据，统计丢包率；通过高精度计时器记录指令-响应时间差；通过网络分析仪实时检测带宽变化。
- 不断增加距离，直至通信断联。

### 12.2.2 通过标准

通信传输距离 $\geq$ 设计值的1倍，丢包率 $\leq 0.5\%$ （额定距离内），传输时延要求遥控信号 $\leq 100$ ms，图传信号 $\leq 200$ ms，带宽稳定性波动 $\leq \pm 15\%$ 。

## 12.3 安全系统测试

### 12.3.1 试验方法

按照下列步骤进行测试：

- 手动触发紧急停机、故障报警、降落伞释放等功能；
- 记录功能触发成功率，安全系统功能响应时间；
- 重复三次取平均值。

### 12.3.2 通过标准

功能触发成功率100%，安全系统响应时间 $\leq 0.5$  s。

## 13 环境适应性试验

### 13.1 温湿度环境测试

#### 13.1.1 试验方法

按照下列步骤进行测试：

- 按 GB/T 38924.1—2020 要求，将飞行器置于 40℃、-10℃及湿热环境下，保持至少 2 h；
- 启动飞行器，检查各系统功能。

#### 13.1.2 通过标准

飞行器能够正常启动，各系统功能正常，无结露或凝水现象。

### 13.2 密封性测试

#### 13.2.1 试验方法

13.2.1.1 燃油箱加注额定容量 80% 的燃油，静置 24 h，检查是否有渗漏；

13.2.1.2 电池包在 1 m 深清水中浸泡 30 min 后，按照 10.2.1 的方法进行电池系统测试。

#### 13.2.2 通过标准

燃油箱无渗漏，电池系统符合10.2.2的要求。

#### 14 试验报告

试验完成后应形成试验报告，试验报告宜包括下列内容：

- 试验产品信息：产品名称、产品型号、生产批次等；
  - 试验的时间、地点；
  - 试验条件：试验环境、场地、试验设备；
  - 试验依据：按照本文件规定的试验方法开展；
  - 试验内容、项目，各测试项目的试验数据及试验结果；
  - 测试人员签字及日期。
-