

团 体 标 准

T/GAMC 0016—2025

低空装备电磁兼容实验测试技术要求

Technical Requirements for Electromagnetic Compatibility Test of
Low-Altitude Equipment

征求意见稿

202X-XX-12 发布

202X-XX-12 实施

中国计算机自动测量与控制技术协会 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 测试项目与技术要求.....	2
4.1 发射测试.....	2
4.2 抗扰度测试.....	2
5 测试方法与流程.....	4
5.1 测试环境要求.....	4
5.1.1 半电波暗室（SAC）.....	4
5.1.2 开阔试验场（OATS）.....	4
5.2 测试流程.....	5
5.2.1 预测试准备.....	5
5.2.2 发射测试步骤.....	5
5.2.3 抗扰度测试步骤.....	6
5.3 测试数据处理与结果判定.....	8
5.3.1 数据处理要求.....	8
5.3.2 结果判定规则.....	8
6 测试设备与条件.....	8
7 安全与合规要求.....	9
7.1 电磁安全.....	9
7.1.1 辐射发射限值管控.....	9
7.1.2 测试间距与防护措施.....	9
7.2 数据安全.....	9
7.2.1 数据存储与加密.....	9
7.2.2 敏感信息脱敏处理.....	10
7.3 合规管理.....	10
7.3.1 法规条款落地执行.....	10
7.3.2 测试报告认证要求.....	10
8 测试报告与认证.....	10
8.1 测试报告.....	10
8.1.1 审批流程.....	10
8.1.2 归档要求.....	11
8.1.3 测试环境参数.....	11
8.1.4 被测设备配置清单.....	11
8.1.5 原始数据曲线与限值对比图.....	11

8.2 认证流程.....	11
8.2.1 实验室测试（第三方全项目测试）.....	11
8.2.2 飞行验证（典型电磁环境复核）.....	12
8.2.3 适航认证（民航局专项要求）.....	12

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承担识别专利的责任。

本文件由中国计算机自动测量与控制技术协会提出并归口。

本文件起草单位：工业和信息化部电子第五研究所、西安西测测试技术股份有限公司、北京元六鸿远电子科技股份有限公司、中国计量科学研究院、中国飞行试验研究院、无锡凯美锡科技有限公司、北京国科标研科技有限公司

本文件主要起草人：陈平、于敏、杨亚楠、张运启、李泽新、刘四平、李继成、许建、要国伟、李红延、祁圣君、张杰、尚尔钧

低空装备电磁兼容实验测试技术要求

1 范围

本文件规定了低空装备电磁兼容试验测试技术要求的测试项目与技术要求、测试方法与流程、测试设备与条件、安全与合规要求、测试报告与认证等内容。

本文件适用于低空飞行器（无人机、eVTOL 等）的天线系统设计、制造、测试及验收，覆盖通信、导航、监视（CNS）等频段，涉及全向天线、定向天线、阵列天线等多种类型。

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 17625.1 电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16A）

GB/T 18268.21 测量、控制和实验室用的电设备 电磁兼容性要求 第 21 部分：特殊要求 无电磁兼容防护场合用敏感性试验和测量设备的试验配置、工作条件和性能判据

GB/T 18268.25 测量、控制和实验室用的电设备 电磁兼容性要求 第 25 部分：特殊要求 接口符合 IEC61784-1, CP3/2 的现场装置的试验配置、工作条件和性能判据

GB/T 2900.65 电工术语 电磁兼容

GB/T 37132 无线充电设备的电磁兼容性通用要求和测试方法

GB/T 38909 民用无人驾驶航空器系统电磁兼容性要求和试验方法

MH/T 2015 低空飞行服务系统技术要求

MH/T 4055.2 低空飞行服务系统技术规范 第 2 部分：技术要求

MH/T 4055.3 低空飞行服务系统技术规范 第 3 部分：测试方法

SJ 20374 军用电子测试设备通用规范 电磁兼容性要求和试验方法

T/CES 253 电磁兼容与天线试验场地绝缘电阻和接地电阻测试方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电磁兼容性 Electro magnetic compatibility

指设备或系统在其电磁环境中能正常工作，且不对该环境中其他设备或系统造成不可接受电磁干扰的能力，是衡量低空装备电磁性能的核心指标，包含电磁干扰（EMI）和电磁敏感度（EMS）两个关键维度。

3.2

电磁干扰 Electro magnetic interference

由设备或系统产生，可对其他设备或系统功能造成损害的电磁现象，分为辐射干扰和传导干扰。

3.3

电磁敏感度 Electro magnetic susceptibility

设备或系统对其所处电磁环境中存在的电磁干扰的敏感程度，敏感度越低设备抗干扰能力越强。

4 测试项目与技术要求

4.1 发射测试

发射测试旨在管控低空装备对外产生的电磁干扰，避免对周边电子设备、通信系统及公共电磁环境造成不良影响，具体测试类型、对象、技术指标及引用标准如下表所示：

表 1 测试类型、对象、技术指标表

测试类型	测试对象	技术指标（建议满足）	引用标准
辐射发射	低空飞行器（无人机、eVTOL、载人飞行器等）整机、地面站（含控制单元、显示单元、数据处理单元）	1. 频段覆盖 30MHz-6GHz，其中 30MHz-1GHz 频段：辐射骚扰场强 $\leq 54\text{dB } \mu\text{V/m}$ （准峰值），工业区场景下可放宽至 $\leq 56\text{dB } \mu\text{V/m}$ （准峰值）；2. 1GHz-6GHz 频段：辐射骚扰场强 $\leq 50\text{dB } \mu\text{V/m}$ （准峰值），工业区场景下可放宽至 $\leq 52\text{dB } \mu\text{V/m}$ （准峰值）；3. 测试过程中，需确保装备处于典型工作状态（如飞行器悬停、地面站数据传输），且不同极化方向（垂直、水平）下的测试结果均需满足限值要求。	GB/T 38909《民用无人驾驶航空器系统电磁兼容性要求和试验方法》
传导发射	低空装备的电源线（如飞行器动力电池供电线、地面站交流电源线）、信号线（如飞行器与地面站的数传信号线、图传信号线、控制信号线）	1. 电源线传导发射：频段 150kHz-30MHz，传导骚扰电压 $\leq 66\text{dB } \mu\text{V}$ （峰值），150kHz-500kHz 频段附加平均值限值 $\leq 56\text{dB } \mu\text{V}$ ；2. 信号线传导发射：频段 150kHz-30MHz，传导骚扰电压 $\leq 60\text{dB } \mu\text{V}$ （峰值），平均值限值 $\leq 50\text{dB } \mu\text{V}$ ；3. 所有被测线缆需按实际装机状态连接，且装备需加装符合行业标准的EMI 滤波器，滤波器安装位置需靠近线缆入口处，以确保滤波效果。	GB 17625.1《电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流 $\leq 16\text{A}$ ）》、GB/T 38909《民用无人驾驶航空器系统电磁兼容性要求和试验方法》

4.2 抗扰度测试

抗扰度测试模拟低空装备可能遭遇的各类电磁干扰场景，验证装备在干扰环境下的工作稳定性和功能完整性，具体测试类型、等级、性能判据及典型场景如下表所示：

表 2 测试类型、等级、性能判据及典型场景表

测试类型	测试等级	性能判据	典型场景
射频电磁	1. 测试频段 80MHz-6GHz，场强等级分	1. A 级：装备功能完全正常，无	1. 城市复杂电磁环境：城市中

测试类型	测试等级	性能判据	典型场景
场辐射抗扰度	为 3V/m、10V/m、20V/m 三档，低空装备需满足 10V/m 场强要求；2. 调制方式：采用 1kHz 正弦波幅度调制，调制深度 80%；3. 测试扫描速率： $\leq 10\%$ 频带宽度/秒。	任何性能下降或数据丢失，操作响应及时，通信链路稳定；2. B 级：在干扰作用期间，装备可能出现短暂性能降低（如数据传输速率小幅下降、导航定位精度临时波动），但干扰移除后，装备可自动恢复至正常工作状态，无永久性损坏，且不影响后续正常运行；3. C 级：干扰作用时装备功能出现明显异常（如短暂通信中断、控制指令延迟），需人工干预（如重启模块、重新连接链路）才能恢复，但无硬件损坏；4. 本标准要求低空装备在 10V/m 场强下需达到 B 级及以上性能判据，关键安全相关装备（如载人 eVTOL 的飞控系统）需达到 A 级。	心区域基站密集，多频段射频信号叠加，可能对低空装备通信、导航造成干扰；2. 机场周边环境：机场雷达、通信系统产生强射频电磁场，低空装备在机场附近起降或飞行时需抵御此类干扰；3. 工业厂区：工业区内的工业设备（如变频器、电焊机）可能产生宽频段射频干扰，影响装备正常作业。
静电放电抗扰度	1. 接触放电：低空装备外壳及金属连接件需满足 $\pm 4\text{kV}$ 接触放电要求；2. 空气放电：装备非金属表面及缝隙处需满足 $\pm 8\text{kV}$ 空气放电要求；3. 放电次数：每个放电点正、负极性各放电 10 次，放电间隔 1 秒。	1. A 级：静电放电后，装备功能完全正常，无数据丢失、程序紊乱或硬件损坏，各项操作指令执行准确；2. B 级：静电放电时，装备可能出现短暂显示异常或功能卡顿，但放电结束后无需人工干预即可恢复正常，无永久性影响；3. 低空装备在规定放电电压下需达到 A 级性能判据，确保地面操作人员意外接触装备时，静电放电不会影响装备安全运行。	1. 干燥环境下操作：在冬季干燥地区或空调室内，操作人员衣物、身体易积累静电，接触地面站或飞行器时可能产生静电放电；2. 装备搬运与维护：装备在搬运、拆卸维护过程中，人员与装备金属部件接触，或装备与其他物体摩擦，可能引发静电放电。
电快速瞬变脉冲群	1. 脉冲群参数：重复频率 5kHz；2. 脉冲幅值：电源线 电源线需满足 $\pm 2\text{kV}$ 幅值，信号线需满足 $\pm 1\text{kV}$ 幅值；3. 脉冲上升时间：5ns-10ns，脉冲持续时间 50ns-100ns。	1. A 级：脉冲群干扰期间及干扰后，装备功能正常，无数据传输错误、控制信号中断或系统重启；2. B 级：干扰期间可能出现短暂数据丢包，但干扰停止后装备可自动重连或恢复数据，无需人工干预；3. C 级：干扰作用时装备出现单次功能中断（如通信暂时断开），干扰移除后装备可自动恢复正常工作，无系统重启或硬件损坏；4. 低空装备需达到 C 级及以上性能判据，关键通信	1. 供电线路干扰：低空装备地面站通常接入市电，当周边用电设备（如电机、开关电源）启停时，会在供电线路中产生电快速瞬变脉冲群，通过电源线传入地面站；2. 线缆耦合干扰：装备线缆（如电源线、信号线）与外部干扰源线缆平行敷设时，可能通过电磁耦合引入脉冲群干扰。

测试类型	测试等级	性能判据	典型场景
		链路相关模块需达到 B 级。	
工频磁场 抗扰度	1. 磁场强度：低空装备需承受 30A/m (50Hz) 的工频磁场；2. 测试持续时间：每个测试点持续暴露 30 分钟；3. 磁场均匀性：测试区域内磁场强度变化 $\leq \pm 10\%$	1. A 级：在工频磁场作用下，装备各项功能完全正常，导航定位误差 $\leq 0.1\text{m}$ ，通信链路无中断，数据传输误码率 $\leq 10^{-6}$ ；2. B 级：工频磁场作用期间，导航定位误差 $\leq 0.5\text{m}$ ，通信中断时间 ≤ 10 秒，干扰移除后定位精度和通信状态立即恢复正常；3. C 级：磁场作用时导航定位误差 $\leq 1\text{m}$ ，通信中断时间 ≤ 30 秒，干扰停止后需 1 分钟内恢复正常；4. 低空装备需达到 B 级及以上性能判据，载人低空飞行器导航系统需达到 A 级。	1. 高压输电线周边：低空装备在高压输电线下方或附近飞行时，输电线产生的工频磁场会对装备的磁传感器、导航系统造成干扰；2. 变电站周边区域：变电站内的变压器、电抗器等设备会产生强工频磁场，装备在变电站周边起降或作业时需抵御此类干扰。

5 测试方法与流程

5.1 测试环境要求

测试环境的电磁特性直接影响测试结果的准确性和可靠性，包括两种核心技术要求：

5.1.1 半电波暗室 (SAC)

半电波暗室是辐射发射测试和辐射抗扰度测试的主要场所，需满足以下技术指标：

- a) 本底噪声：在 1GHz 频段，暗室内的电磁本底噪声需满足 $\leq -110\text{dBm}$ ；30MHz-1GHz 频段，本底噪声 $\leq -105\text{dBm}$ ；1GHz-18GHz 频段，本底噪声应控制在 $\leq -100\text{dBm}$ 。
- b) 吸波材料性能：暗室内墙面、地面及顶面铺设的吸波材料，在 30MHz-18GHz 频段内，反射损耗 $\geq 20\text{dB}$ ；其中 30MHz-1GHz 频段，反射损耗 $\geq 25\text{dB}$ ；1GHz-6GHz 频段，反射损耗 $\geq 30\text{dB}$ ，以有效吸收电磁波，模拟自由空间电磁环境。
- c) 场均匀性：在辐射抗扰度测试中，测试区域 ($2\text{m} \times 2\text{m} \times 2\text{m}$) 内的电磁场均匀性需满足 $\leq \pm 3\text{dB}$ (80MHz-1GHz 频段)；1GHz-6GHz 频段，场均匀性应控制在 $\leq \pm 4\text{dB}$ 。
- d) 接地要求：暗室地面铺设导电地板，接地电阻应满足 $\leq 1\Omega$ ，且需与实验室接地系统单点连接，避免接地环路引入干扰；暗室内的测试设备、工作台等金属部件均需可靠接地，接地电阻应控制在 $\leq 2\Omega$ 。

5.1.2 开阔试验场 (OATS)

开阔试验场主要用于部分辐射发射测试的辅助验证和大型装备的测试，技术要求如下：

- a) 场地布局：试验场需为平坦开阔区域，距周围反射物体（如建筑物、树木、金属围栏）的距离 $\geq 3\text{m}$ ；场地中心区域无金属障碍物，确保电磁波传播路径不受阻挡。
- b) 接地系统：试验场地面需铺设接地网，接地电阻应满足 $\leq 4\Omega$ ；测试用的接地极需与接地网可靠连接，接地引线长度应满足 $\leq 3\text{m}$ 。

c) 测试距离：进行辐射发射测试时，被测装备与接收天线的距离需满足 $\geq 3\text{m}$ ；对于大型低空装备（如载人 eVTOL），测试距离可扩展至 10m，但需在测试报告中明确标注，并对测试结果进行距离修正。

d) 环境电磁噪声：测试期间，试验场周边的电磁噪声需低于被测装备辐射发射限值 10dB 以上；若环境噪声无法满足要求，需选择夜间或电磁干扰较小时段进行测试，并在报告中说明环境噪声情况。

5.2 测试流程

测试流程需严格遵循标准化步骤，确保测试过程可追溯、测试结果准确可靠，具体分为预测试准备、发射测试、抗扰度测试三个阶段：

5.2.1 预测试准备

预测试准备是保障测试顺利开展的基础，需完成以下工作：

5.2.1.1 设备状态检查与设置

a) 低空飞行器：确保电池满电量（电量应控制在 $\geq 95\%$ ），检查动力系统、飞控系统、导航系统、通信模块等关键部件功能正常；根据测试要求，关闭非必要功能模块（如冗余通信链路、辅助传感器），仅保留测试所需的核心工作模块；将飞行器固定在专用测试支架上，支架需采用非金属材料（如碳纤维、塑料），避免对电磁信号产生反射或吸收。

b) 地面站：接通电源，开机并进入待机状态，检查控制软件、数据显示界面、通信连接功能正常；关闭地面站的无线热点、蓝牙等非测试用无线功能，确保仅通过指定通信链路 with 飞行器连接；记录地面站的硬件版本（如主板型号、通信模块型号）、固件版本及软件版本信息，在测试报告中需详细标注。

5.2.1.2 测试设备校准

a) 天线校准：使用标准增益天线（如双锥天线、对数周期天线、喇叭天线）对测试用接收天线和辐射天线进行校准；在 30MHz-6GHz 频段内，按 10% 频段间隔选取校准点，测量天线的增益、驻波比等参数，确保天线性能符合测试要求，校准误差应控制在 $\leq \pm 1\text{dB}$ 。

b) 信号源与接收机校准：对射频信号源、频谱分析仪、电磁干扰接收机等设备进行校准；使用标准信号发生器输出已知幅度、频率的信号，接入接收机或频谱分析仪，验证设备测量结果的准确性，误差需控制在 $\pm 0.5\text{dB}$ 以内；校准完成后，记录校准数据及校准证书编号，校准证书有效期需在测试期间内。

c) 其他设备校准：对电流探头、电压探头、静电放电模拟器等设备进行校准，电流探头在 150kHz-30MHz 频段内的校准误差应控制在 $\leq \pm 1\text{dB}$ ，电压探头在 100kHz-1GHz 频段内的校准误差应控制在 $\leq \pm 0.8\text{dB}$ ；静电放电模拟器的放电电压误差应控制在 $\leq \pm 5\%$ ，上升时间误差应控制在 $\leq \pm 10\%$ 。

5.2.2 发射测试步骤

发射测试包括辐射发射测试和传导发射测试，具体步骤如下：

5.2.2.1 辐射发射测试

a) 设备布置：将低空飞行器固定在半电波暗室中心的非金属支架上，飞行器高度距暗室地面 1.5m；接收天线放置在暗室指定测试位置，天线中心与飞行器中心高度一致，天线与飞行器的水平距离按测试标准要求设定（通常为 3m）；根据测试频段选择合适的天线，30MHz-1GHz 频段使用双锥天线，1GHz-6GHz 频段使用对数周期天线。

b) 极化方向设置：先将接收天线设置为垂直极化，开启电磁干扰接收机，按 10% 频段间隔对 30MHz-6GHz 频段进行扫描，记录每个频段的辐射骚扰场强数值；完成垂直极化测试后，将接收天线调整为水平极化，重复上述扫描过程，确保覆盖所有测试频段，且每个极化方向的扫描数据均需单独存

c) 工作状态模拟：测试期间，需使低空装备处于典型工作状态—对于飞行器，通过地面站发送悬停指令，维持动力系统低功率运行（如电机转速保持在额定转速的 30%-50%），同时开启导航定位模块、图传模块及数传模块，模拟实际飞行中的数据传输场景；对于地面站，保持与飞行器的正常通信连接，实时接收并显示飞行器的位置、姿态、电池电量等数据。

d) 数据记录与异常处理：每完成一个频段的扫描，需立即核对数据是否在正常波动范围内（如相邻频率点的场强差值应满足 $\leq 3\text{dB}$ ），若出现异常峰值（如某频率点场强超出限值 5dB 以上），需排除天线接触不良、装备供电不稳定等因素后重新测试；测试全程需通过专用数据采集软件记录原始数据，包括测试时间、频率、场强值、极化方向、装备工作状态等信息。

5.2.2.2 传导发射测试

a) 测试链路搭建：在半电波暗室或屏蔽室内，将低空装备的电源线、信号线分别接入人工电源网络（LISN）或电流探头—电源线测试时，需将 LISN 串联在装备供电回路中，LISN 的阻抗需满足 $50\ \Omega/50\ \mu\text{H}$ （150kHz-30MHz 频段）；信号线测试时，将电流探头套在信号线上，探头与线缆的耦合度需达到 90%以上，且探头与装备接口的距离需控制在 $\geq 0.5\text{m}$ 。

b) 装备状态设置：飞行器需接入模拟电池供电（电压与实际电池一致，如 22.2V、44.4V），开启飞控系统、通信模块，但不启动动力电机（避免电机噪声对传导信号造成干扰）；地面站接入市电（220V/50Hz），通过信号线与飞行器建立连接，保持数据持续传输（如每秒发送 1 次位置查询指令，接收 1 次状态反馈数据）。

c) 信号采集与分析：开启电磁干扰接收机，对 150kHz-30MHz 频段进行扫描，电源线测试采用峰值检波和平均值检波，信号线测试仪采用峰值检波；每扫描完一个频段（如 150kHz-1MHz、1MHz-30MHz），需暂停测试并分析数据，若电源线传导骚扰电压在 150kHz-500kHz 频段超出平均值限值，需检查装备是否加装合规的 EMI 滤波器，滤波器的接地是否可靠；若信号线传导骚扰电压超标，需排查线缆屏蔽层的接地方式（如单端接地或双端接地）是否符合要求，屏蔽层的覆盖率是否满足 $\geq 95\%$ 。

d) 重复性验证：为确保测试结果的可靠性，每个测试链路（如电源线、数传信号线、图传信号线）需重复测试 3 次，3 次测试结果的偏差需 $\leq 2\text{dB}$ ，取平均值作为最终测试结果；若 3 次结果偏差较大（如超出 5dB），需检查测试设备的校准状态、线缆连接的一致性，必要时更换 LISN或电流探头后重新测试。

5.2.3 抗扰度测试步骤

抗扰度测试需模拟不同电磁干扰场景，按射频电磁场辐射抗扰度、静电放电抗扰度、电快速瞬变脉冲群、工频磁场抗扰度的顺序开展，具体步骤如下：

5.2.3.1 射频电磁场辐射抗扰度测试

a) 测试系统部署：在半电波暗室中，将低空装备固定在非金属转台上（转台可 360° 旋转），装备与辐射天线的距离为 3m；辐射天线采用对数周期天线（80MHz-1GHz）或喇叭天线（1GHz-6GHz），天线高度与装备中心高度一致（1.5m），且天线的辐射方向需正对装备；在装备周围 $2\text{m}\times 2\text{m}\times 2\text{m}$ 的测试区域内，布置 3 个场强探头，用于实时监测场强均匀性。

b) 场强校准：开启射频信号源，输出 1kHz 调制（80%调幅）的信号，在测试区域内进行场强校准—先将转台旋转至 0° ，调整信号源功率，使场强探头监测的场强达到 10V/m，记录此时的信号源参数；再将转台旋转 90° 、 180° 、 270° ，重复校准过程，确保测试区域内所有位置的场强均匀性 $\leq \pm 3\text{dB}$ （80MHz-1GHz）或 $\pm 4\text{dB}$ （1GHz-6GHz）；校准完成后，保存信号源参数。

c) 抗扰度测试执行：将装备调整至典型工作状态（飞行器悬停模拟、地面站数据传输），开启数据监测软件，实时记录装备的通信链路质量（如误码率、丢包率）、导航定位精度、飞控系

统响应时间（如指令下发至执行的延迟）；按 10%频带宽度/秒的扫描速率，对 80MHz-6GHz 频段进行抗扰度测试，每个频率点停留时间应满足 ≥ 5 秒，观察装备是否出现功能异常（如通信中断、定位漂移）；若在某频率点出现 B 级性能异常（如短暂丢包），需在该频率点重复测试 3 次，确认异常是否可复现；若出现 C 级性能异常（如持续通信中断），需立即停止测试，分析干扰耦合路径（如通过天线、线缆或外壳）。

5.2.3.2 静电放电抗扰度测试

a) 测试环境准备：在温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 30%-60%的环境中，将低空装备放置在绝缘台面上（台面与地面的绝缘电阻 $\geq 10^{12} \Omega$ ），装备与周围接地物体的距离 $\geq 1\text{m}$ ；静电放电模拟器需接地（接地电阻 $\leq 1 \Omega$ ），放电枪的接地线长度 $\geq 2\text{m}$ ，且与装备线缆的距离 $\geq 0.5\text{m}$ 。

b) 放电点选取：根据装备结构，选取关键放电点—金属外壳（如飞行器机臂）、金属连接件（如接口插头、螺丝）作为接触放电点，共选取 6 个点（正面 2 个、侧面 2 个、顶面 1 个、底面 1 个）；非金属表面、缝隙处作为空气放电点，共选取 8 个点（覆盖装备所有暴露面）；在每个放电点做好标记，记录位置坐标（如距装备前端 10cm、左侧 5cm）。

c) 放电测试与监测：接触放电时，将放电枪的尖端紧贴放电点，按 $\pm 4\text{kV}$ 电压等级，正、负极性各放电 10 次，每次放电间隔 1 秒；空气放电时，将放电枪的尖端与放电点应至少保持 5mm 距离，按 $\pm 8\text{kV}$ 电压等级，正、负极性各放电 10 次；放电过程中，需安排专人监测装备状态，包括显示屏是否黑屏、指示灯是否异常闪烁、通信是否中断、飞控系统是否报错；若放电后装备出现程序紊乱（如地面站软件卡死），需记录放电电压、极性、放电点位置，重启装备后验证功能是否恢复，若无法恢复，需拆解装备检查硬件是否损坏。

5.2.3.3 电快速瞬变脉冲群测试

a) 干扰注入方式：电源线测试采用耦合/去耦网络（CDN），将 CDN 串联在装备供电回路中，CDN 的阻抗为 50Ω （150kHz-100MHz），确保脉冲群信号有效注入；信号线测试采用电容耦合夹，将耦合夹固定在信号线上，耦合电容值为 100pF（ $\pm 20\%$ ），耦合夹与装备接口的距离 $\geq 0.3\text{m}$ 。

b) 脉冲群参数设置：脉冲群发生器的重复频率设为 5kHz，电源线注入时脉冲幅值为 $\pm 2\text{kV}$ ，信号线注入时为 $\pm 1\text{kV}$ ；脉冲上升时间调整为 5ns-10ns，脉冲持续时间为 50ns-100ns；设置每次干扰注入的持续时间为 1 分钟，间隔时间为 2 分钟。

c) 装备性能监测：测试期间，实时监测装备的供电电压波动、通信链路状态、飞控系统的控制精度；若在干扰注入期间出现数据丢包（如丢包率 $\geq 1\%$ ），需记录丢包发生的时间、脉冲幅值、线缆类型；若出现控制指令延迟（如指令下发后 5 秒才执行），需排查装备的滤波电路是否正常。

5.2.3.4 工频磁场抗扰度测试

a) 磁场发生装置布置：在屏蔽室内，将工频磁场发生器放置在低空装备周围，线圈的轴线与装备的敏感部件（如磁罗盘）平行，线圈与装备的距离需满足测试区域内磁场均匀性 $\leq \pm 10\%$ ；磁场发生器的供电由专用稳压电源提供，确保磁场强度稳定。

b) 磁场强度校准：开启磁场发生器，逐步调节输出电流，通过特斯拉计（精度 $\pm 1\%$ ）在测试区域内的 3 个关键点（装备中心、磁罗盘正上方、GPS 天线正下方）测量磁场强度，直至达到 30A/m（50Hz）；校准完成后，锁定磁场发生器的电流参数。

c) 长时间抗扰测试：将装备调整至持续工作状态—飞行器开启导航系统，实时输出定位数据；地面站记录定位误差、通信中断次数；测试持续 30 分钟，每 5 分钟记录 1 次数据，包括磁场强度、定位误差、数据传输误码率；若在测试第 15 分钟出现定位误差超出 B 级限值，需检查装备的磁屏蔽措施是否有效，屏蔽罩的接地是否可靠；测试结束后，需让装备继续运行 1 小时，观察是否出现延迟性故障。

5.3 测试数据处理与结果判定

5.3.1 数据处理要求

a) 数据有效性筛选：从原始测试数据中剔除异常值—辐射发射测试中，若某频率点的场强值超出相邻 5 个频率点平均值的 10dB 以上，且经重复测试确认并非装备本身问题（如天线干扰），则该数据视为无效，需用相邻频率点的线性插值结果替代；传导发射测试中，若 LISN 的阻抗偏离 $50\Omega/50\mu\text{H}$ 的偏差超过 10%，则该频段的测试数据无效，需重新校准 LISN 后测试。

b) 数据单位换算：若测试数据的单位与标准要求不一致（如将 mV 转换为 dB μV ），需按公式进行换算： $\text{dB}\mu\text{V}=20\lg(\mu\text{V})$ ，如 $1\text{mV}=60\text{dB}\mu\text{V}$ ；磁场强度单位若为高斯（G），需换算为安/米（A/m），换算关系为 $1\text{G}=0.0796\text{A/m}$ 。

c) 统计分析：对重复测试的 3 组数据进行统计，计算平均值、标准差—发射测试中，平均值需作为最终结果与限值对比；抗扰度测试中，有 2 组达到 B 级及以上性能判据，则判定该项目合格；若 1 组合格、2 组不合格，则需增加 2 次测试，以 4 次合格数据 ≥ 3 次为判定合格的依据。

5.3.2 结果判定规则

a) 发射测试判定：辐射发射测试中，30MHz-6GHz 频段内所有频率点的场强值均需满足对应限值（常规场景 $\leq 54\text{dB}\mu\text{V/m}$ ，工业区 $\leq 56\text{dB}\mu\text{V/m}$ ），且垂直、水平极化方向均合格，方可判定辐射发射项目合格；传导发射测试中，电源线需同时满足峰值和平均值限值，信号线需满足峰值限值，且所有被测线缆均合格，方可判定传导发射项目合格。

b) 抗扰度测试判定：射频电磁场辐射抗扰度测试需达到 B 级及以上（关键装备 A 级），静电放电抗扰度测试需达到 A 级，电快速瞬变脉冲群测试需达到 C 级及以上（关键链路 B 级），工频磁场抗扰度测试需达到 B 级及以上；若某项目未达到要求（如静电放电测试出现 B 级性能异常），则判定装备的 EMC 测试不合格，需出具整改建议。

c) 综合判定：所有测试项目（辐射发射、传导发射、4 项抗扰度测试）均合格，方可判定该低空装备的 EMC 性能符合本标准要求；若有 1 项及以上项目不合格，需由装备生产厂家进行整改，整改后需重新进行全项目测试，直至所有项目合格。

6 测试设备与条件

测试类型与技术指标表详见下表：

表 3 测试类型与技术指标表

设备类型	技术指标（建议满足）	备注
频谱分析仪	频率范围 10Hz-110GHz，分辨率带宽 $\leq 1\text{Hz}$	
电磁干扰接收机	动态范围 $\geq 80\text{dB}$	
横电磁波传输室（TEM）	测试频率 10kHz-200MHz，场均匀性 $\pm 2\text{dB}$	
静电放电模拟器	输出电压 $\pm 25\text{kV}$ ，上升时间 $\leq 0.1\mu\text{s}$	

7 安全与合规要求

7.1 电磁安全

电磁安全是低空装备 EMC 测试的核心安全维度，需同时管控装备的电磁辐射风险与测试过程中的电磁暴露安全，具体要求如下：

7.1.1 辐射发射限值管控

a) 限值依据与比例要求：低空装备在全频段（30MHz-6GHz）的辐射发射场强，严格满足公众暴露限值的 50%，30MHz-300MHz 频段，公众暴露限值为 40V/m（电场强度），装备辐射发射需 $\leq 20\text{V/m}$ ；300MHz-3GHz 频段，公众暴露限值为 20V/m，装备辐射发射需控制 $\leq 10\text{V/m}$ ；3GHz-6GHz 频段，公众暴露限值为 15V/m，装备辐射发射需控制在 $\leq 7.5\text{V/m}$ 。

b) 测试场景特殊管控：在开阔试验场（OATS）进行辐射发射测试时，需额外监测测试区域周边 100m 范围内的电磁环境，若周边存在居民区、学校等敏感区域，需将测试时段限定在每日9:00-17:00（避开公众活动高峰），且需在测试区域周边设置电磁辐射警示标识，标注“电磁测试区域，非测试人员禁止入内”。

7.1.2 测试间距与防护措施

a) 基础间距要求：抗扰度测试（尤其是射频电磁场辐射抗扰度测试）期间，低空飞行器（含测试支架）与地面站的水平间距需 $\geq 3\text{m}$ ，垂直间距需 $\geq 1.5\text{m}$ 。

b) 特殊场景间距调整：若测试装备为大型低空载人飞行器，需将间距扩大至 $\geq 5\text{m}$ ，且需在两者之间设置非金属隔离栏，隔离栏高度 $\geq 1.2\text{m}$ ；若测试项目涉及静电放电抗扰度（ $\pm 8\text{kV}$ 空气放电），测试人员与被测装备的距离需 $\geq 1.5\text{m}$ ，且需穿戴绝缘手套、绝缘鞋。

7.2 数据安全

测试数据包含装备核心参数与电磁性能信息，需通过技术手段与管理流程保障数据全生命周期安全，具体要求如下：

7.2.1 数据存储与加密

a) 加密算法与存储要求：所有测试原始数据（如辐射发射频谱图）需采用国密 SM4 分组密码算法进行加密存储，加密密钥长度 ≥ 128 位，且需定期更换密钥；存储介质需选用符合国家保密标准的硬盘，禁止存储在非加密 U 盘、云存储平台等不安全介质中；数据存储服务器需部署防火墙与入侵检测系统（IDS）。

b) 日志保留与管理：测试日志需包含测试人员、测试时间、设备状态、数据修改记录等关键信息，保留周期 ≥ 3 年，且需采用“本地+异地”双备份模式—本地备份存储在实验室专用服务器，异地备份存储在符合等级保护三级及以上要求的灾备中心，备份频率为每日增量备份、每周全量备份。

7.2.2 敏感信息脱敏处理

a) 脱敏范围与方式：对测试数据中包含的敏感信息需进行脱敏处理—装备通信协议，需删除核心指令字段，仅保留协议框架（如数据帧格式、校验方式）；装备硬件参数中的核心芯片型号需用“XXX”替代，固件版本号需隐藏最后两位；委托单位的商业信息需从测试报告中完全剔除，仅保留单位名称的脱敏形式。

b) 脱敏审核与管控：脱敏处理需由实验室数据安全专员负责，处理完成后需提交质量负责人审核，审核通过后方可用于报告编制或数据共享；若委托单位需获取完整未脱敏数据，需出具 加盖单位公章的《敏感数据使用申请》，说明数据用途，并承诺遵守《数据安全法》相关规定。

7.3 合规管理

需确保测试全流程符合国家法律法规与行业规范，具体要求如下：

7.3.1 法规条款落地执行

T/CAMC 0016-2025

a) 《无人驾驶航空器飞行管理条例》合规要求：严格遵循条例第 18 条“无人驾驶航空器系统应当符合电磁兼容性要求，避免对其他航空器、地面设施以及人身财产造成电磁干扰”的规定，测试前需核查装备是否已完成电磁兼容性预评估，无预评估报告的装备不得进入测试环节；测试中若发现装备辐射发射超出限值，需立即停止测试，出具《EMC 整改建议函》，待装备厂家完成整改并提交整改报告后，方可重新安排测试。

b) 其他法规衔接：同时需符合《民用航空法》《电磁兼容管理办法》等法规要求，若测试装备用于民航作业（如机场巡检无人机），需额外满足民航局发布的《民用无人机适航管理规定》中关于 EMC 的专项要求；若装备出口至国外市场，需同步参考目标国法规。

7.3.2 测试报告认证要求

a) 认证机构资质要求：测试报告需经具备 CNAS（中国合格评定国家认可委员会）或 CMA（中国计量认证）资质的机构签发，且机构认可范围需包含“低空装备电磁兼容测试”项目；若委托单位需用于产品上市、政府项目申报等场景，报告需同时加盖 CNAS 与 CMA 双章。

b) 报告合规性审核：报告签发前需由机构合规专员进行审核，重点核查测试项目是否覆盖法规要求、测试数据是否符合限值、敏感信息是否脱敏，审核不通过的报告需返回测试部门修改，修改后重新提交审核，直至符合合规要求。

8 测试报告与认证

8.1 测试报告

8.1.1 审批流程

测试报告需经测试人员编制、技术负责人审核、质量负责人批准三级审批，技术负责人需核对测试数据的准确性、判定规则的适用性，重点审查异常数据的处理逻辑（如超标频率点的复测记录、干扰路径分析报告），确保每个结论均有数据支撑；质量负责人需检查报告格式是否符合要求，包括章节编号的规范性、图表标注的完整性、单位符号的正确性，审批通过后加盖实验室 CMA（中国计量认证）或 CNAS

（中国合格评定国家认可委员会）资质公章。

8.1.2 归档要求

报告原件需存档至实验室资料室，采用“年度-装备类型-测试批次”的分类方式存放，配套归档材料包括原始测试数据记录表、设备校准证书复印件、装备参数说明书、异常情况处理台账，所有材料需装订成册并标注归档编号，保存期限不少于 5 年；报告副本需发送至委托单位，副本需加盖“副本”印章，同时提供电子版（PDF 格式，带电子签章），电子文件需通过加密邮件传输，确保信息安全；若委托单位需额外提供给第三方审核机构，需由委托单位出具书面申请。

8.1.3 测试环境参数

a) 基础环境参数：需详细记录测试期间的温度（精确至 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ）、相对湿度（精确至 $\pm 1\%$ ）、大气压力（精确至 $\pm 1\text{kPa}$ ），参数需通过实验室温湿度记录仪、大气压力计实时采集，每 30 分钟记录一次，取平均值作为最终报告数据；若测试在半电波暗室进行，需同时记录暗室本底噪声，并附上本底噪声测试频谱图。

b) 特殊环境说明：若测试期间出现环境异常，需在报告中注明异常时段、异常原因及处理措施，确保异常情况不影响测试结果的有效性；若测试在开阔试验场进行，需记录测试区域的地理位置、周

边环境。

8.1.4 被测设备配置清单

a) 硬件配置细节：需列出装备所有核心硬件的型号、生产厂家与参数—飞行器部分包括机身型号、动力电机型号、电池容量与电压、飞控系统型号、通信模块型号；地面站部分包括主机型号、显示屏尺寸与分辨率、通信天线型号，且需注明各硬件的生产批次号，便于追溯硬件一致性。

b) 固件与软件版本：需记录装备固件版本、地面站软件版本，且需说明测试前是否对固件/软件进行更新；若装备存在多个配置版本，需明确测试对应的版本。

8.1.5 原始数据曲线与限值对比图

a) 曲线绘制要求：原始数据曲线需采用专业数据分析软件绘制，横轴为频率，纵轴为场强/电压；曲线需包含测试数据曲线与标准限值曲线，且需在曲线旁注明曲线类型。

b) 超差频点标注：若存在超差频点（如某频率点测试值超出限值），需在对比图中用带色圆圈标注超差位置，并在图下方用表格列出超差详情—超差频率、测试值、限值、超差值、超差原因分析等；若所有频点均合格，需在图下方注明“所有测试频点均符合标准限值要求”。

8.2 认证流程

认证流程需覆盖实验室测试、飞行验证与适航认证三个关键环节，每个环节需明确操作规范、验证标准与结果判定要求，具体如下：

8.2.1 实验室测试（第三方全项目测试）

a) 测试机构选择：委托单位需选择具备 CNAS/CMA 资质且认可范围包含低空装备 EMC 测试的第三方机构，避免选择无资质或认可范围不符的机构；测试前需签订测试委托合同，明确测试项目（如辐射发射、传导发射等）、测试标准、交付时间与报告要求。

b) 测试执行与结果确认：测试需由机构持证测试人员操作，全程需录制视频，视频保留周期应 ≥ 1 年；测试完成后，机构需向委托单位出具测试初稿报告，委托单位需在 5 个工作日内审核初稿，核对设备配置、测试数据是否与实际一致，若有异议需书面提出，机构需在 3 个工作日内复核并修改，直至委托单位确认无误后，出具正式认证报告。

8.2.2 飞行验证（典型电磁环境复核）

验证场景选择：飞行验证需在典型电磁干扰环境中进行，优先选择以下场景—机场周边、城市密集通信区、工业干扰区，每个场景的验证时间不少于 2 小时，且需覆盖装备的典型工作模式（如悬停、巡航、数据传输）。

验证项目与判定标准：飞行验证需重点监测装备的通信链路稳定性（如数据丢包率应控制在 $\leq 0.1\%$ 、通信距离无明显缩短）、导航定位精度、飞控系统响应性（如控制指令延迟应控制在 $\leq 100\text{ms}$ ）；若在机场周边环境出现短暂数据丢包（丢包率 0.3% ，持续时间 ≤ 5 秒），且干扰移除后恢复正常，判定为“符合要求”；若出现持续通信中断（ ≥ 30 秒）或导航失控，判定为“不符合要求”，需返回实验室重新优化 EMC 设计并再次测试。

8.2.3 适航认证（民航局专项要求）

认证依据与申请材料：需严格按照民航局《无人机适航审定 EMC 专项要求》开展认证，申请材料包括实验室测试报告（CNAS/CMA 双章）、飞行验证报告（含场景描述、监测数据）、装备 EMC 设计文档、整改报告（若存在测试超差情况）；申请材料需通过审定系统在线提交，且需加盖申请单位公章与第三方测试机构公章。

T/CAMC 0016-2025

认证审核与发证：适航审定中心会组织专家对申请材料进行审核，审核通过后需进行现场核查；现场核查合格后，颁发适航认证证书，证书有效期为 2 年，有效期内若装备硬件、固件进行重大修改（如更换飞控芯片、升级通信模块），需重新申请认证；证书需在装备出厂时随附，作为产品合法进入民航作业领域的依据。