



中华人民共和国国家标准

GB/T 38058—2019

民用多旋翼无人机系统试验方法

Test methods for civil multi-rotor unmanned aircraft system

2019-10-18 发布

2020-05-01 实施

国家市场监督管理总局
中国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 符号和缩略语	2
5 通则	2
5.1 试验目的	2
5.2 试验条件和要求	2
5.2.1 技术文件	2
5.2.2 被试品	2
5.2.3 设备和仪器仪表	2
5.2.4 人员要求	2
5.2.5 被试品进场后的管理	3
5.3 试验环境要求	3
5.4 试验中断和恢复	3
5.5 合格判据要求	3
5.6 试验大纲	3
5.7 试验报告	4
6 试验方法	4
6.1 试验项目	4
6.2 基本检查	6
6.2.1 齐套性	6
6.2.2 外观	6
6.2.3 尺寸	6
6.2.4 质量和质心	6
6.2.5 机构动作	7
6.2.6 接插件	7
6.2.7 备案登记	7
6.3 功能检查	7
6.3.1 身份识别	7
6.3.2 航线装订	7
6.3.3 自检测性	7
6.3.4 综合显示	7
6.3.5 数据存储	8
6.3.6 一键返航	8
6.3.7 自动避障	8
6.3.8 典型失效保护	8
6.3.9 起飞与着陆	8
6.3.10 告警	8
6.3.11 电机锁定与启动	9
6.3.12 控制模式切换	9
6.4 飞行性能	9
6.4.1 最大起飞质量	9
6.4.2 最大作业半径	9

6.4.3	最大飞行海拔高度	9
6.4.4	最大平飞速度	10
6.4.5	最大爬升速率	10
6.4.6	高度保持性能	10
6.4.7	速度保持性能	10
6.4.8	续航时间	11
6.4.9	定点悬停	11
6.4.10	定位导航	12
6.4.11	航迹精度	12
6.4.12	抗风能力	12
6.5	电池系统	12
6.5.1	充电时间	12
6.5.2	放电容量	13
6.5.3	电池循环寿命	13
6.5.4	工况循环寿命	14
6.5.5	过充	14
6.5.6	过放	14
6.5.7	短路	14
6.5.8	低气压	15
6.5.9	跌落	15
6.5.10	温度循环	15
6.5.11	挤压	16
6.5.12	热滥用	16
6.5.13	浸泡	16
6.6	导航系统	16
6.6.1	静态姿态精度	16
6.6.2	静态定位精度	16
6.7	数据链系统	17
6.7.1	遥控遥测距离	17
6.7.2	信息传输距离	17
6.7.3	发射机射频输出功率	17
6.7.4	接收机灵敏度	18
6.7.5	发射机杂散发射功率	18
6.7.6	发射机邻道泄漏比	18
6.7.7	载波中心频率	18
6.7.8	接收机邻道选择性	18
6.8	环境适应性	19
6.8.1	高温	19
6.8.2	低温	19
6.8.3	淋雨	20
6.8.4	湿热	20
6.8.5	振动	20
6.8.6	冲击	20
6.9	电磁兼容性	20
6.9.1	通则	20
6.9.2	发射试验	21
6.9.3	抗扰度	22
附录 A (规范性附录)	遥控遥测距离试验步骤	28

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国航空器标准化技术委员会(SAC/TC 435)提出并归口。

本标准起草单位：中国航空综合技术研究所、深圳一电航空技术有限公司、深圳市大疆创新科技有限公司、深圳市科比特航空科技有限公司、中国电子技术标准化研究院、山东鲁能智能技术有限公司、北京航空航天大学、广东泰一科技高新技术发展有限公司、易瓦特科技股份公司、合肥赛为智能有限公司、辽宁壮龙无人机科技有限公司。

本标准主要起草人：舒振杰、贾博、胡应东、曾佳、张显志、杨旸、卢致辉、罗伟、刘浪、全权、李焕然、王秋阳、张超、林志昆、马宗峰、何志凯、车嘉兴、吴安璐、黄山、李宛隆、张黎、陈明非、王博甲、曹国杰。



民用多旋翼无人机系统试验方法

1 范围

本标准规定了民用多旋翼无人机系统及部件的试验方法。

本标准适用于民用轻小型(最大起飞质量在 150 kg 以下)电动多旋翼无人机系统(以下简称无人机系统)及部件的设计、制造、检测和认证等;其他类型无人机系统亦可参照执行。

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 4208 外壳防护等级(IP 代码)

GB/T 6113.101 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-1 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 测量设备

GB/T 6113.102 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-2 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 传导骚扰测量的耦合装置

GB/T 9254 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法

GB/T 17626.1 电磁兼容 试验和测量技术 抗扰度试验总论

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验

GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度

GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

GB/T 17626.9 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验

GB/T 17799.1 电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的抗扰度

GB/T 17799.2 电磁兼容 通用标准 工业环境中的抗扰度试验

GB/T 17799.3 电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的发射

GB/T 17799.4 电磁兼容 通用标准 工业环境中的发射

HB 6167.4—2014 民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第 4 部分:湿热试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

任务剖面 mission profile

被测产品在完成规定任务这段时间内所经历的事件和环境的时序描述。

3.2

多旋翼无人机 multi-rotor UAV

一种由动力驱动,飞行时凭借三个及以上旋翼依靠空气的反作用力获得支撑,能够垂直起降、自由悬停的无人机。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

I_n (A): 电池制造商规定的额定充电电流,以该电流充电 n 小时可将电池充满。

v_{hm} : 最大平飞速度,单位为米每秒(m/s)或千米每小时(km/h)。

v_{vm} : 最大爬升率,单位为米每秒(m/s)或千米每小时(km/h)。

FFT: 快速傅里叶变换(Fast Fourier Transformation)。

UAV: 无人机(Unmanned Aerial Vehicle)。

5 通则

5.1 试验目的

试验目的如下:

- 考核无人机系统及部件的功能、性能指标是否满足设计要求;
- 考核无人机系统工作的稳定性、安全性和可靠性;
- 评测无人机系统操作使用、维护保养等要求;
- 提出改进设计和是否进行补充试验的建议。

5.2 试验条件和要求

5.2.1 技术文件

试验前应准备下述文件:

- 试验相关设计文件、图样及接口文件;
- 产品说明书、操作手册、维护手册等。

5.2.2 被试品

被试品应满足以下要求:

- 被试品应与提交的产品资料内容相符;
- 被试品数量应满足试验要求;
- 进行认证试验的被试品应有企业合格证等质量检验证明。

5.2.3 设备和仪器仪表

用于产品检验的仪器设备(包括专用设备)应经检定或校准并在有效期内,陪试设备应检验合格。所用测试仪器应满足预期的使用要求,其测量不确定度或最大允许误差应小于被测参数最大允许误差的三分之一。

5.2.4 人员要求

试验人员应能熟练操作被试品、测试设备,具有相应岗位的技术和能力,并具备相应级别的职业认

证/岗位认证。

5.2.5 被试品进场后的管理

被试品进场后管理规定如下：

- a) 被试品进场后应按承试单位试验管理规则执行；
- b) 被试品交接后，未经同意不应随意调整、调试，其操作由承试单位组织实施，研制设计单位进行技术保障。

5.3 试验环境要求

除本标准或详细规范另有规定外，所有试验应在下列条件下进行：

- a) 温度：室内 15℃～35℃，室外温度应在制造商规定的工作温度范围内；
- b) 相对湿度：20%～80%；
- c) 气压：86 kPa～106 kPa；
- d) 风速：3 级以下（距地面 10 m 处的风速小于或等于 5.4 m/s）。

5.4 试验中断和恢复

试验中断和恢复处理方法如下：

- a) 试验中出现下列情况之一终止试验：
 - 1) 被试品关键指标不合格；
 - 2) 被试品因故障不能正常工作，且不能修复。
- b) 试验中出现下述情况时应视情况进行补充试验：
 - 1) 个别试验项目不合格，已找出原因并纠正；
 - 2) 维修与调整中改变了原设计；
 - 3) 更换了影响被试品技术性能的元器件或组件。

5.5 合格判据要求

除另有规定外，被试品的指标满足相应要求（符合产品规范及其他相关要求），即可判定为合格。

5.6 试验大纲

试验大纲应包括但不限于下述内容：

- a) 任务依据；
- b) 试验目的；
- c) 试验时间和地点；
- d) 被试品、陪试品数量及技术状态；
- e) 试验项目、分组情况、方法及要求；
- f) 测试测量要求；
- g) 试验的中断处理与恢复；
- h) 试验合格的判断依据；
- i) 试验组织与任务分工；
- j) 试验保障；
- k) 试验安全；
- l) 有关问题说明；

m) 附录。

5.7 试验报告

试验报告应包括但不限于下述内容：

- a) 被试品全貌和关键部件照片；
- b) 试验概况；
- c) 试验项目、结果与必要说明；
- d) 试验中出现的主要问题及处理情况；
- e) 结论；
- f) 存在问题与建议；
- g) 附件。

6 试验方法

6.1 试验项目

无人机系统试验项目见表1。

表1 试验项目信息表

序号	试验项目		章条号
1	基本检查	齐套性	6.2.1
2		外观	6.2.2
3		尺寸	6.2.3
4		质量和质心	6.2.4
5		机构动作	6.2.5
6		接插件	6.2.6
7		登记备案	6.2.7
8	功能检查	身份识别	6.3.1
9		航线装订	6.3.2
10		自检测性	6.3.3
11		综合显示	6.3.4
12		数据存储	6.3.5
13		一键返航	6.3.6
14		自动避障	6.3.7
15		典型失效保护	6.3.8
16		起飞与着陆	6.3.9
17		告警	6.3.10
18		电机锁定与启动	6.3.11
19		控制模式切换	6.3.12

表 1 (续)

序号	试验项目		章条号
20	飞行性能试验	最大起飞质量	6.4.1
21		最大作业半径	6.4.2
22		最大飞行海拔高度	6.4.3
23		最大平飞速度	6.4.4
24		最大爬升率	6.4.5
25		高度保持性能	6.4.6
26		速度保持性能	6.4.7
27		续航时间	6.4.8
28		定点悬停	6.4.9
29		定位导航	6.4.10
30		轨迹精度	6.4.11
31		抗风能力	6.4.12
32	电池系统试验	充电时间	6.5.1
33		放电容量	6.5.2
34		电池循环寿命	6.5.3
35		工况循环寿命	6.5.4
36		过充	6.5.5
37		过放	6.5.6
38		短路	6.5.7
39		低气压	6.5.8
40		跌落	6.5.9
41		温度循环	6.5.10
42		挤压	6.5.11
43		热滥用	6.5.12
44	浸泡	6.5.13	
45	导航系统试验	静态航姿精度	6.6.1
46		静态定位精度	6.6.2
47	数据链系统试验	遥控遥测距离	6.7.1
48		信息传输距离	6.7.2
49		发射机射频输出功率	6.7.3
50		接收机灵敏度	6.7.4
51		发射机杂散发射功率	6.7.5
52		发射机临道泄漏比	6.7.6
53		载波中心频率	6.7.7
54		接收机邻道选择性	6.7.8

表 1 (续)

序号	试验项目		章条号
55	环境适应性试验	高温	6.8.1
56		低温	6.8.2
57		淋雨	6.8.3
58		湿热	6.8.4
59		振动	6.8.5
60		冲击	6.8.6
61	电磁兼容性试验	传导发射	6.9.2.1
62		辐射发射	6.9.2.2
63		射频的电磁场辐射抗扰度	6.9.3.2
64		工频磁场抗扰度	6.9.3.3
65		脉冲磁场抗扰度	6.9.3.4
66		静电放电抗扰度	6.9.3.5
67		电快速瞬变脉冲群抗扰度	6.9.3.6
68		浪涌抗扰度	6.9.3.7
69		射频频感应的传导骚扰抗扰度	6.9.3.8
70		电压暂降和短时中断	6.9.3.9

6.2 基本检查

6.2.1 齐套性

采用目视检查法对照产品清单逐项进行检查和记录。

6.2.2 外观

采用目视检查法对无人机系统进行检验,检查项目一般包括:

- 设备的涂覆是否均匀,标识是否清晰正确、易于识别(包括铭牌、尺寸、类型、型号、质量等),且各类粘贴物是否易擦除或出现卷边;
- 接口、开关、摇杆等应有的文字或符号标识是否齐全;
- 设备是否有裂痕、划痕、锈蚀等破损情况。

6.2.3 尺寸

使用尺寸测量工具按照产品说明书对无人机系统及部件结构的形状特征量(如:长、宽、高、轴距、螺旋桨半径等)进行逐项测量和记录。

6.2.4 质量和质心

检测无人机系统及部件的质量,以及无人机的质心位置是否在无人机允许的最大质心范围内。检测方法一般包括:

- 使用质量测量工具测量无人机系统及部件质量(单位:g),包括挂载不同任务载荷情况下的

质量；

- b) 使用悬垂法等方法测量无人机质心位置,并核对是否与设计尺寸一致;
- c) 对于任务载荷为在飞行过程中存在质量变化的液体的情况,应测量整个过程中的质心变化范围。

6.2.5 机构动作

采用目视检查法对无人机系统上的开关、按钮、可折叠旋臂和其他控制部件进行逐个检验。观察各活动机构动作是否顺滑、可靠,有无松动、卡滞、短缺、变形等现象。

6.2.6 接插件

根据指标要求逐项检查无人机系统接插件,并对检查情况进行记录。一般检查项目包括:

- a) 是否有防插错、防松动设计和到位标识;
- b) 是否便于操作、安装牢固、连接可靠;
- c) 裸露在外的插头是否有防护设计;
- d) 是否存在针孔歪斜、插针内缩及插针表面损伤等;
- e) 电源接插件是否有防打火设计。

6.2.7 备案登记

目视检查核对无人机系统备案码是否与注册信息一致。

6.3 功能检查

6.3.1 身份识别

在无人机飞行情况下,通过无人机监管系统或模拟监管系统检查无人机身份识别功能,检查项目包括:

- a) 当前无人机飞行数据信息是否准确;
- b) 无人机和拥有者身份信息是否满足主管部门要求;
- c) 无人机系统主动报告频次是否符合要求。

6.3.2 航线装订

任意装订一条航线至无人机系统,装订过程中观察有无状态回报,飞行中观察无人机是否按照装订航线飞行。

6.3.3 自检测性

开启无人机系统,目视法观察是否有声(光)提示测试通过。

6.3.4 综合显示

在无人机静态开机情况下,目视检查显示功能。检查项目宜包括:

- a) 无人机姿态、速度、位置、高度、航线信息;
- b) 电源、卫星导航信号、电机电调状态信息;
- c) 无线电测控与信息传输系统工作状态信息;
- d) 无人机身份信息;
- e) 报警信息,指令发送、回报信息等。

6.3.5 数据存储

在典型飞行任务状态下,控制无人机飞行,飞行结束后读取并比对数据,检查数据存储是否完整,飞行数据和任务数据是否正确。

6.3.6 一键返航

操控无人机朝某一方向短时飞行后,通过遥控器或地面控制单元控制无人机一键返航,目视无人机平台能否按要求返回到返航点。其中,间歇输入停止返航指令,观察无人机是否停止返航,且转为手动控制,试验过程中一般检查项目如下:

- 无人机接收指令后是否立即响应,着陆于返航点,且无翻转、降落过快、坠机等异常现象,水平精度是否达到设计要求;
- 返航过程中,遥控器或地面控制单元设备是否能重新取得飞机的控制权,并停止自动返航飞行任务。

6.3.7 自动避障

控制无人机飞向根据制造商规定自动避障范围内的障碍物,直至无人机与障碍物距离小于制造商规定的安全距离时,观察无人机是否能避免与障碍物碰撞。控制无人机远离障碍物,无人机是否能重新可控。障碍物可设为墙体、玻璃、电线杆、电线等。

6.3.8 典型失效保护

对于不同的失效情况,目视法观察无人机是否自动完成返航、降落、悬停等保护动作。失效情况及其试验方法如下:

- 卫星导航信号中断:正常飞行状态下,控制无人机飞入有顶建筑物等遮挡卫星导航信号的空间,直至无人机卫星导航信号丢失,目视法观察是否具有相应的保护功能;
- 链路中断:正常飞行状态下,关闭遥控器和地面控制设备,目视法观察是否具有相应的保护功能;
- 低电量:根据无人机系统具有的低电量失控保护功能,在正常工作状态下,控制飞机持续飞行至表2中的低电量状态,目视法观察是否具有相应的保护功能。

表2 无人机失效状态表

低电量状态	状态描述	保护功能
状态1	电池电量达到制造商规定的报警要求	系统告警,提示用户电量低
状态2	电池电量低,仅够维持返航	自动返航
状态3	电池电量过低,当前状态下无法返航	自动降落

6.3.9 起飞与着陆

在表面平整,坡度小于 10° 的地面上进行如下试验:

- 无人机按照使用说明书操作方法自动起飞,观察无人机是否出现翻转、蛙跳等失控现象;
- 无人机按照使用说明书操作方法自动降落,观察无人机是否出现翻转、坠落后等失控现象。

6.3.10 告警

当出现6.3.8中规定的异常情况时,观察无人机系统是否具有相应的声光告警。

6.3.11 电机锁定与启动

启动无人机系统,待其完成自检,在电机锁定状态下推拉控制拨杆观察电机是否无反应;启动电机,观察电机是否带动桨叶怠速旋转,推动油门拨杆,观察桨叶是否加速旋转。

6.3.12 控制模式切换

无人机系统在正常飞行状态下,控制其在手动模式和自动模式间进行自由切换,观察飞行是否平滑切换,且不出现在坠落、偏飞等失控现象。

6.4 飞行性能

6.4.1 最大起飞质量

无人机在功能完好、电量充足的状态下,不挂载任务载荷,通过挂载相应配重,使总质量达到设计的最大起飞质量标称值,操作无人机按照规定的典型任务剖面飞行,观察无人机系统是否能正常完成任务,记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度等信息。

6.4.2 最大作业半径

无人机在功能完好、电池满电状态下,挂载制造商规定的任务配重,预设航线,控制无人机平台垂直起飞到达制造商规定的典型作业高度(若未规定典型作业高度,则取作业高度范围中值),记为位置 A,以制造商规定的典型作业速度沿直线平飞至位置 B(若未规定典型作业速度,则取作业速度范围中值),位置 B 与位置 A 之间的距离应等于制造商规定的最大作业半径,控制无人机返航至 A 点 5 m 范围内,检测无人机电池电量不应少于满电状态下的 10%;当无人机返航过程中电量不足以支撑返航时,记无人机电量为 10% 时的位置为位置 C,最大作业半径按照式(1)计算:

$$R = \frac{1}{2}(L_1 + L_2) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

R ——最大作业半径,单位为米(m);

L_1 ——位置 B 与位置 A 之间的距离,单位为米(m);

L_2 ——位置 B 与位置 C 之间的距离,单位为米(m)。

按上述方法测量 3 次,取最小值。记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度等信息。

6.4.3 最大飞行海拔高度

将无人机系统标准大气条件下的最大飞行海拔高度标称值 $H_{0\max}$ 按照式(2)换算为当前环境条件下的高度 $H_{\max}$ 。无人机在功能完好、电量充足的状态下,挂载制造商规定的任务配重,控制无人机垂直爬升飞行,当飞行高度达到 $H_{\max}$ 后,控制无人机前飞、后飞、侧飞、转向,并悬停 3 min,过程中使用测试设备检测无人机位置信息(设备的采样频率不小于 10 Hz),并通过地面控制单元辅助判断无人机飞行是否正常响应,测量并记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度信息。飞行结束后,读取测试设备飞行数据判断飞行试验的有效性。测试过程中应注意当地的飞行高度限制等相关法规要求。

$$H_{\max} = H_{0\max} - H \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$H_{\max}$ ——当前环境条件下的等效高度,单位为米(m);

$H_{0\max}$ ——标准大气条件下的最大飞行海拔高度标称值,单位为米(m);

H ——起飞点海拔高度,单位为米(m)。

6.4.4 最大平飞速度

在功能完好、电量充足状态下预设航线,向无人机挂载制造商规定的任务配重,控制无人机垂直起飞至规定作业高度,并加速平飞,直至平飞速度连续 5 s 内稳定在 $(1 \pm 0.05)v_{\text{km}}$ 范围内,全程使用测试设备测量无人机位置信息(测试设备的采样频率不小于 10 Hz),并通过地面控制单元辅助判读无人机飞行速度。

飞行结束后,分析测试设备采集的飞行数据,截取平飞速度的稳定区间,取均值作为单次最大平飞速度。重复上述步骤,共进行试验 4 次,飞行应相反方向各 2 次,取 4 次平均值作为最终测量结果。记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度等信息。

6.4.5 最大爬升速率

在功能完好、电量充足状态下预设航线,向无人机挂载制造商规定的任务配重,控制无人机垂直爬升飞行,并最大限度加速爬升,直至爬升速率连续 5 s 稳定在 $(1 \pm 0.05)v_{\text{m}}$ 范围内。全程使用测试设备测量无人机位置信息(测试设备的采样频率不小于 10 Hz),并通过地面控制单元辅助判读无人机爬升速度。

飞行结束后,分析测试设备采集的飞行数据,截取爬升速率的稳定区间,取均值作为单次最大爬升率。重复上述步骤,共进行试验 3 次,取 3 次中值最小值。记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度等信息。测试过程中应注意当地飞行高度限制等相关法规要求。

6.4.6 高度保持性能

在功能完好、电量充足状态下预设航线,向无人机挂载制造商规定的任务配重,控制无人机按照下述步骤飞行:

- a) 垂直起飞至规定高度 H_1 ,以速度 v_1 水平飞行 30 s;
- b) 飞至高度 H_2 ,以速度 v_2 水平飞行 30 s;
- c) 飞至高度 H_3 ,以速度 v_3 水平飞行 30 s。

上述飞行步骤中, H_i 、 v_i 应在制造商规定的作业高度和速度范围内均匀选取,如作业高度为 30 m,则 0 m~10 m(含)、10 m~20 m(含)和 20 m~30 m(含)范围内各选一个值。

飞行结束后,分析测试设备采集的飞行数据(测试设备的采样频率不小于 10 Hz),计算三个飞行阶段的定高精度:截取各阶段连续时间内高度位于 $(0.95H_i, 1.05H_i)$ 区间的飞行数据,取均值 H'_i 和标准差 σ_i ,则 $|H'_i - H_i|$ 为高度 H_i 的定高误差, σ_i 为定高波动大小。记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度信息。

注: $i=1,2,3$ 。

6.4.7 速度保持性能

在功能完好、电量充足状态下预设航线,向无人机挂载制造商规定的任务配重,控制无人机按照下述步骤飞行:

- a) 垂直起飞至规定高度 H_1 ,以速度 v_1 水平飞行 30 s;
- b) 飞至高度 H_2 ,以速度 v_2 水平飞行 30 s;
- c) 飞至高度 H_3 ,以速度 v_3 水平飞行 30 s。

上述飞行步骤中, H_i 、 v_i 应在制造商规定的作业高度和速度范围内均匀选取,如作业高度为 30 m,则 0 m~10 m(含)、10 m~20 m(含)和 20 m~30 m(含)范围内各选一个值。

飞行结束后,分析测试设备采集的飞行数据(测试设备的采样频率不小于 10 Hz),计算三个飞行阶段的定速精度:截取各阶段连续时间内速度位于 $(0.95v_i, 1.05v_i)$ 区间的飞行数据,取均值 v'_i 和标准差

σ_i , 则 $|v'_i - v_i|$ 为速度 v_i 的定速误差, σ_i 为定速波动大小。记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度信息。

注: $i=1, 2, 3$ 。

6.4.8 续航时间

6.4.8.1 通则

无人机系统应功能完好, 电池为满电状态。告警提示电压值应设置为电量 10% 时电池的电压值, 试验应在空载和满载两种情况下进行。当无人机载荷为不可拆卸时, 则视标准状态为满载状态, 按满载方法测量。

6.4.8.2 空载悬停

在空载情况下, 控制无人机垂直起飞至离地 10 m 高度位置悬停, 电池低电量告警并强制降落。全程使用计时工具进行计时, 强制降落时终止计时, 记录运行时间。重复上述步骤, 共进行试验 3 次, 取 3 次试验最小值。记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度信息。

6.4.8.3 空载平飞

预设航线, 在空载情况下, 控制无人机垂直起飞至离地 10 m 高度, 控制无人机以制造商规定的典型作业速度(若未规定典型作业速度, 则取作业速度范围中值)在最大作业半径范围内短轴大于 200 m 的椭圆形航线绕行, 电池低电量告警并强制降落。全程使用计时工具进行计时, 强制降落时终止计时, 记录运行时间。重复上述步骤, 共进行试验 3 次, 取 3 次试验最小值。记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度信息。

6.4.8.4 满载悬停

在满载情况下, 控制无人机垂直起飞至离地 10 m 高度位置悬停, 电池低电量告警并强制降落。全程使用计时工具进行计时, 强制降落时终止计时, 记录运行时间。重复上述步骤, 共进行试验 3 次, 取 3 次试验最小值。记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度信息。

6.4.8.5 满载平飞

预设航线, 向无人机挂载满载配重, 控制无人机垂直起飞至离地 10 m 高度, 控制无人机以制造商规定的典型作业速度(若未规定典型作业速度, 则取作业速度范围中值)在最大作业半径范围内以短轴大于 200 m 的椭圆形航线绕行, 电池低电量告警并强制降落。全程使用计时工具进行计时, 强制降落时终止计时, 记录运行时间。重复上述步骤, 共进行试验 3 次, 取 3 次试验最小值。记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度信息。

6.4.9 定点悬停

无人机系统应功能完好, 电池电量充足, 分别在空载和满载两种情况下, 如图 1, 控制无人机在 0 点垂直起飞至离地 10 m 高度, 启动悬停功能并保持该状态 180 s, 每隔 5 s 利用距离测量工具分别测量无人机与 0 点的水平距离 L 和垂直距离 H 。在 5 个不同的位置重复上述试验, 分别取均值和标准差。记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度等信息。

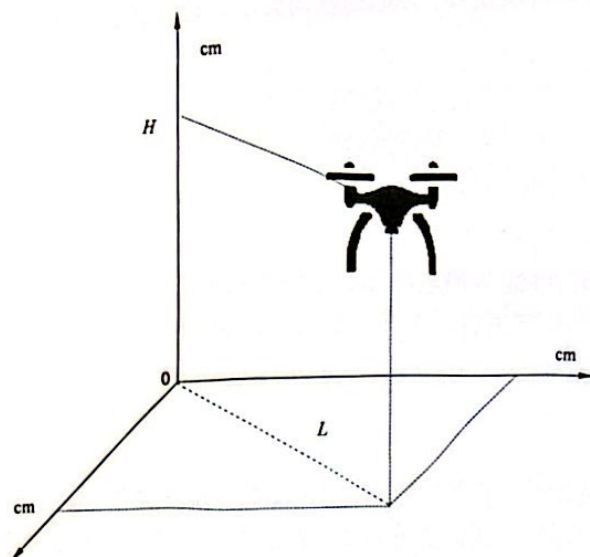


图1 悬停精度试验原理示意图

6.4.10 定位导航

在功能完好、电量充足状态下,启动无人机系统,无人机应接收到不少于8颗导航卫星的信号。预设无人机航线,并向无人机挂载满载配重,控制无人机按照规定任务剖面飞行。全程使用测试设备对无人机的位置信息进行记录(测试设备的采样频率不小于10 Hz),飞行结束后,将地面控制单元导出的位置数据与测试设备采集的位置数据进行对比分析,得出无人机的定位导航精度。

6.4.11 航迹精度

在功能完好、电量充足状态下,启动无人机系统,无人机应接收到不少于8颗导航卫星的信号。预设无人机航线,并向无人机挂载满载配重,控制无人机按照规定的任务剖面飞行。全程使用测试设备对无人机的位置信息进行记录(测试设备的采样频率不小于10 Hz),飞行结束后根据预设航迹,分析测试设备采集的飞行数据,去除过弯过渡过程,将测试设备采集的位置数据与预设航迹进行对比分析,得出无人机的航迹精度。

6.4.12 抗风能力

在功能完好、电量充足状态下,启动无人机系统,无人机应接收到不少于8颗导航卫星的信号。当无合适的自然风场时,通过人工模拟方法,制造等同于无人机系统抗风能力的风速,将无人机置于人工风场中,按照6.4.9进行悬停试验,观察试验结果是否满足要求,使用地面控制单元控制其前飞、后飞、侧飞、转向,观察是否正常响应。

6.5 电池系统

6.5.1 充电时间

被测电池应为新样品。使用专用设备,确保电池正负极与充电设备对应的端子安全可靠连接,在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下,电池以规定的 $1I_n(\text{A})$ 电流放电至企业技术条件中规定的放电终止电压,搁置1 h(或者企业提供的不大于1 h的搁置时间),然后按企业技术要求的充电规程进行充电。若未提供充电规程,按下列方法充电:以 $1I_n(\text{A})$ 电流恒流充电至企业技术条件中规定的充电终止电压,然后恒压充电至充电电流降至 $0.05I_n(\text{A})$ 时停止充电,充电完成后静置30 min,若充电过程中有单体电池电压超过充

电终止电压 0.1 V 时,停止充电。记录此时使用的时间 t_1 ,相同方法进行测试,测试样本数不少于 3 次,取平均值作为电池的充电时间。

6.5.2 放电容量

使用专用充放电设备使电池构成回路,保持流过回路的电流恒定不变,记录放电时间,直至正负极电压达到放电终止电压,此时的放电容量即为电池初始放电容量。

a) 室温放电容量步骤如下:

- 1) 被测电池按 6.5.1 规定方法充电;
- 2) 被测电池在 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ 条件下以 $1I_n(\text{A})$ 电流放电,至电压达到制造商规定的放电终止电压时停止试验,计算放电容量(以 $\text{A} \cdot \text{h}$ 计),并计算比能量(以 $\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ 计);
- 3) 重复 1)、2) 过程不少于两次,记录相应的放电容量,取放电容量的平均值作为电池的室温放电容量;
- 4) 如需要,试验过程中记录单体蓄电池的电压、温度变化情况。

b) 低温放电容量步骤如下:

- 1) 被测电池按 6.5.1 规定方法充电;
- 2) 将被测电池置于电池设计工作温度范围的下限温度环境下储存 20 h;
- 3) 被测电池以 $1I_n(\text{A})$ 电流放电,直到制造商规定的放电终止电压;
- 4) 重复 1)、3) 过程不少于两次,记录相应的放电容量,取 3 次放电容量的平均值作为电池的低温放电容量;
- 5) 用 $1I_n(\text{A})$ 电流值和放电时间数据计算容量(以 $\text{A} \cdot \text{h}$ 计),并表达为额定容量的百分数。

c) 高温放电容量步骤如下:

- 1) 被测电池按 6.5.1 规定方法充电;
- 2) 将被测电池置于产品电池设计工作温度范围的上限温度环境下储存 5 h;
- 3) 被测电池以 $1I_n(\text{A})$ 电流放电,直到制造商规定的放电终止电压;
- 4) 重复 1)、3) 过程两次,记录相应的放电容量,取 3 次放电容量的平均值作为电池的高温放电容量;
- 5) 用 $1I_n(\text{A})$ 电流值和放电时间数据计算容量(以 $\text{A} \cdot \text{h}$ 计),并表达为额定容量的百分数。

d) 低温倍率放电容量步骤如下:

- 1) 被测电池按 6.5.1 规定方法充电;
- 2) 将被测电池置于电池设计工作温度范围的下限温度下储存 20 h;
- 3) 被测电池以 $nI_n(\text{A})$ 电流放电,直到制造商规定的放电终止电压;
- 4) 重复 1)、3) 过程不少于两次,记录相应的放电容量,取 3 次放电容量的平均值作为电池的低温放电容量;
- 5) 用 $nI_n(\text{A})$ 电流值和放电时间数据计算容量(以 $\text{A} \cdot \text{h}$ 计),并表达为额定容量的百分数。

e) 高温倍率放电容量步骤如下:

- 1) 被测电池按 6.5.1 规定方法充电;
- 2) 将被测电池置于电池设计工作温度范围的上限温度环境下储存 5 h;
- 3) 被测电池以 $nI_n(\text{A})$ 电流放电,直到制造商规定的放电终止电压;
- 4) 重复 1)、3) 过程两次,记录相应的放电容量,取 3 次放电容量的平均值作为电池的高温放电容量;
- 5) 用 $nI_n(\text{A})$ 电流值和放电时间数据计算容量(以 $\text{A} \cdot \text{h}$ 计),并表达为额定容量的百分数。

6.5.3 电池循环寿命

环境温度 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$,使用新电池作为被测对象。使用专用充放电设备以规定的充放电规律对电池

进行充放电,当检查的电池容量不满足制造商规定的可使用电池容量时,判定寿命终止。

具体操作步骤如下:

- a) 按照 6.5.1 中方法进行放电;
- b) 搁置不低于 30 min 或制造商规定的搁置时间,两者取其长者;
- c) 按照 6.5.1 中方法进行充电;
- d) 搁置不低于 30 min 或制造商规定的搁置时间,两者取其长者;
- e) 以 $1I_n(A)$ 恒流放电至制造商规定的放电终止电压;
- f) 重复进行 b)~e) 直至放电容量低于初始容量的 80%,此时的循环次数作为被测电池的充放电次数。

6.5.4 工况循环寿命

在制造商规定的工况环境温度下[若未规定取环境温度(25 ± 5)℃],使用新电池作为被测对象。使用专用充放电设备以规定的充放电规律对电池进行充放电,当检查的电池容量不满足制造商规定的可使用电池容量时,判定寿命终止。

具体操作步骤如下:

- a) 按照 6.5.1 中方法进行放电;
- b) 搁置不低于 30 min 或制造商规定的搁置时间,两者取其长者;
- c) 按照 6.5.1 中方法进行充电;
- d) 搁置不低于 30 min 或制造商规定的搁置时间,两者取其长者;
- e) 按照无人机任务剖面对应的电池工况进行脉冲放电,直至电池中某一单体达到制造商规定的放电终止电压,记录放电容量;
- f) 重复进行 b)~e) 直至放电容量低于初始容量的 80%,此时的循环次数作为被测电池的工况循环寿命。

6.5.5 过充

被测对象应为新电池,将电池置于防爆箱中,试验步骤如下:

- a) 使用专用充放电设备按照 6.5.1 规定的方法充电后,继续以制造商规定的最大充电电流恒流充电,直至任一单体电池电压达到规定充电终止电压的 1.5 倍或保护电路动作,观察 1 h;
- b) 使用专用充放电设备按照 6.5.1 规定的方法放电,以制造商规定的最大充电电流的 1.5 倍进行恒流充电,直至任一单体电池的电压达到规定的充电终止电压或保护电路动作,观察 1 h。

试验过程中,如电池无爆炸、着火、漏液现象发生,则通过试验。

6.5.6 过放

被测对象应为新电池,将电池置于防爆箱中,试验步骤如下:

- a) 电池按照 6.5.1 中方法进行充电;
- b) 以 $1I_n(A)$ 电流放电持续 $1.5\times n$ 小时或保护电路动作,观察 1 h。

试验过程中,如电池无爆炸、着火、漏液现象发生,则通过试验。

6.5.7 短路

被测对象应为新电池,将电池置于防爆箱内,使用搭建回路对电池正负极间进行外部短路,外电路装有开关设备,根据电池规格确定外部电路总阻值:5 mΩ、20 mΩ、50 mΩ、80 mΩ、100 mΩ,开通回路直至 10 min 或保护电路动作。

试验过程中,如电池无过热、破裂、爆炸、着火现象发生,则通过试验。

6.5.8 低气压

被测对象应为新电池,试验方法步骤如下:

- a) 电池按照 6.5.1 中方法进行充电;
- b) 将电池置于防爆真空箱中;
- c) 真空箱绝对气压调整至 11.6 kPa,保持 6 h;
- d) 试验结束后,观察电池 1 h。

试验过程中,如电池无破裂、爆炸、着火现象发生,则通过试验。

6.5.9 跌落

被测对象应为新电池,试验设备应具备防爆措施,跌落试验方法步骤如下:

- a) 电池按照 6.5.1 中方法进行充电;
- b) 控制电池跌落至水泥地面上,跌落高度根据电池质量按表 3 选取;
- c) 跌落试验不少于 4 次,保证被测每一类相似面至少有一次跌落试验;
- d) 试验结束后,观察电池 1 h。

试验过程中,如电池无爆炸、着火现象发生,则通过试验。

表 3 跌落高度

电池质量 g	跌落高度 m
电池质量 ≤ 100	1.5
$100 < \text{电池质量} \leq 500$	1.2
$500 < \text{电池质量} \leq 1\,000$	1.0
电池质量 $\geq 1\,000$	0.5

6.5.10 温度循环

被测对象应为新电池,试验过程中电池应置于防爆设备内。试验方法步骤如下:

- a) 电池按照 6.5.1 中方法进行充电;
- b) 将电池放入温循箱中,温循箱温度按照表 4 进行调节,循环 10 次;
- c) 试验完成后观察 1 h。

试验过程中,如电池无破裂、爆炸、着火现象发生,则通过试验。

表 4 温度循环时序

初始温度 ℃	时间增量 h	累计时间 h	温度变化率 ℃/h
20	0	0	0
20	0.5	0.5	110
75	1.5	2	0
75	0.5	2.5	-110

表 4 (续)

初始温度 ℃	时间增量 h	累计时间 h	温度变化率 ℃/h
20	1.5	4	0
20	0.5	4.5	-120
-40	1.5	6	0
-40	0.5	6.5	120

6.5.11 挤压

挤压试验测试方法如下:

- 电池按照 6.5.1 中方法进行充电;
- 将电池组放置在挤压板上,以 (13.0 ± 0.78) kN 的压力对电池组进行挤压,一旦压力达到规定值,即停止挤压。挤压时应保证与工装接触的电池单体数 n 尽量少,力的施加方向应与电池挤压面垂直,挤压位置应在电池挤压面中心区域。

观察 1 h,如电池无爆炸、着火现象发生,则通过试验。

6.5.12 热滥用

被测对象应为新电池,试验过程中电池应置于防爆装置内。试验测试方法如下:

- 电池按照 6.5.1 中方法进行充电;
- 将电池放入温度箱中,温度箱以 (5 ± 2) °C/min 的速率由室温升至 (130 ± 2) °C,并保持此温度 30 min 后停止加热;
- 观察 1 h。

试验过程中,如电池无爆炸、着火、破裂现象发生,则通过试验。

6.5.13 浸泡

被测对象应为新电池,试验过程中电池应置于防爆装置内。试验测试方法如下:

- 电池按照 6.5.1 中方法进行充电;
- 将电池放置在防爆装置内,浸入 3.5% NaCl 溶液中(模拟海水成分),水深应完全没过电池单体或模块;
- 持续观察 2 周。

试验过程中,如电池无爆炸、着火现象发生,则通过试验。

6.6 导航系统

6.6.1 静态姿态精度

无人机系统应功能完好、电池电量充足,使用专用测试设备将无人机固定于任一航向、俯仰和横滚姿态,读取和记录地面控制单元导出的姿态数据与测试设备采集的姿态数据;控制测试设备改变无人机姿态,再次读取和记录;测试样本数不少于 5,分析对比姿态数据,得出无人机的静态姿态精度。

6.6.2 静态定位精度

无人机系统应功能完好、电池电量充足,启动后,无人机系统应接收到不少于 8 颗导航卫星的信号。

试验方法步骤如下：

- a) 室外设置一个基准点,记录基准点坐标;
- b) 将无人机置于上述基准点位置;
- c) 通过地面控制单元读取无人机位置坐标信息;
- d) 将测量值与基准值进行比较,评判定位精度;
- e) 测量 5 次,取平均值和标准差。

6.7 数据链系统

6.7.1 遥控遥测距离

试验场地要求如下：

- a) 试验场地应平坦而空旷,测试中心 0 点以 1.5 倍最大遥控距离半径范围内,不应有大的反射物,如建筑物、围墙等,如图 2 所示;
- b) 试验场地周围不应有积雪、高草、松土或炉渣等之类的吸声材料。

控制无人机从 0 点起飞,沿着一个方向直线低空飞行(飞行高度 120 m 以下),直至无人机系统提示功能异常。利用距离测量工具分别测量无人机与 0 点的水平距离 L 和垂直距离为 H ,计算出对应的距离 R 。改变飞行目的点位置,分别在 5 个不同的位置重复试验,取平均值。记录试验场地的温度、气压、风速和海拔高度等信息。

当试验条件不具备时,可按照附录 A 中方法进行实验室试验确定遥控距离和遥测距离。

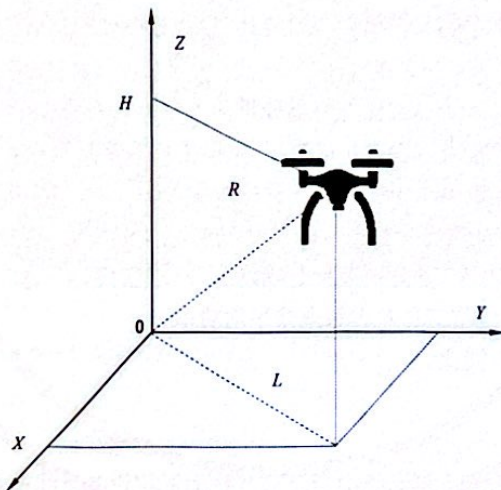


图 2 遥控遥测距离试验示意图

6.7.2 信息传输距离

向无人机挂载信息传输任务设备,控制无人机飞至信息传输距离设计值上空,改变无人机前飞、后飞、侧飞、转向、爬升等飞行姿态进行作业试验,检查无人机信息传输功能,观察和记录信息传输数据,检查数据质量是否满足使用要求。

6.7.3 发射机射频输出功率

使用无线测试设备测试无人机发射机最大发射功率、地面遥测设备发射机最大发射功率,具体试验步骤如下：

- a) 将无人机或地面遥测设备发射机连接信号功率测量设备;

- b) 开启无人机或地面遥测设备发射机的发射功能；
- c) 读取信号分析仪功率测量值，测试样本数不少于 10 个，取平均值。

6.7.4 接收机灵敏度

使用无线测试设备测试无人机接收机灵敏度、地面遥测设备接收机灵敏度，具体试验步骤如下：

- a) 将无人机或地面遥测设备的接收机连接信号衰减器输出端与信号分析仪器输入端，衰减器输入端连接无人机无线信号模拟器；
- b) 开启无人机或地面遥测设备接收机的接收功能；
- c) 调整信号衰减器来改变模拟器信号的功率，直至无人机或地面遥测设备提示功能异常；
- d) 读取信号分析仪功率测量值，测试样本数不少于 10 个，取平均值。

6.7.5 发射机杂散发射功率

使用无线测试设备测试无人机带内与带外杂散发射功率、地面遥测设备带内与带外杂散发射功率，具体试验步骤如下：

- a) 将无人机或地面遥控设备发射机与信号分析仪连接；
- b) 开启无人机或地面遥控设备发射机的发射功能；
- c) 读取信号分析仪中杂散功率测量值，测试样本数不少于 10 个，取平均值。

6.7.6 发射机邻道泄漏比

使用无线测试设备测试无人机发射机邻道泄漏比、地面遥控设备发射机邻道泄漏比，具体试验步骤如下：

- a) 将无人机或地面遥控设备发射机与测量分析仪连接；
- b) 开启无人机或地面遥控设备发射机的发射功能，发射功率调至最大；
- c) 修改当前射频本振获取一个子帧的采样数据；
- d) 重复步骤 c)，直至测试数据满足规定的测量带宽；
- e) 测试样本数不少于 10 个，并分别进行时域加窗，FFT 变换；
- f) 按照时域位置，计算主信道和左右邻道的平均功率；
- g) 计算主道与邻道的泄漏比。

6.7.7 载波中心频率

使用无线测试设备测试出无人机无线中心频率和地面遥控设备无线中心频率，具体试验步骤如下：

- a) 将无人机或地面遥控设备发射机与测量分析仪连接；
- b) 开启无人机或地面遥控设备发射机的发射功能；
- c) 读取信号分析仪的中心频率值，测试样本数不少于 10 个，取平均值。

6.7.8 接收机邻道选择性

使用无线测试设备测试无人机接收机邻道选择性和地面遥测设备接收机邻道选择性，具体试验步骤如下：

- a) 将无人机或地面遥测设备的接收机连接测量分析仪与无线模拟发射机；
- b) 开启无人机或地面遥控设备的接收机功能；
- c) 在当前无线模拟发射机帧数据上注入邻道信号，并改变邻道信号强度，观察无人机指示功能是否正常；
- d) 重复步骤 c)，注入不同的邻道信号；

- e) 测试样本数不少于 20 个,得出相邻通道的最小接收功率。

6.8 环境适应性

6.8.1 高温

6.8.1.1 高温贮存

高温贮存试验步骤如下:

- 将无人机系统放置到试验箱(室)内,安装完成后对外观和功能/性能进行检测,记录检测结果,以确保安装完好;
- 无人机系统不工作,以不大于 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的温度变化速率将试验箱(室)内温度调节至有关文件规定的高温贮存温度,保持此温度直至无人机系统温度稳定后再保持 3 h;
- 以不大于 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的温度变化速率将试验箱(室)内温度恢复到实验室环境温度,直至温度稳定;
- 对外观和功能/性能进行检测,记录检测结果。

6.8.1.2 高温工作

高温工作试验步骤如下:

- 将无人机系统放置到试验箱(室)内,安装完成后对外观和功能/性能进行检测,记录检测结果,以确保安装完好;
- 启动无人机系统工作,以不大于 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的温度变化速率将试验箱(室)内温度调节至有关文件规定的高温工作温度,保持此温度直至无人机系统温度稳定;
- 对功能/性能进行检测,并记录检测结果;
- 让无人机系统停止工作(也可在恢复到实验室环境温度后再进行此项操作),以不大于 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的温度变化速率将试验箱(室)内温度恢复到实验室环境温度,直至温度稳定;
- 对外观和功能/性能进行检测,记录检测结果。

注 1: 高温贮存和高温工作试验可以合并进行,当高温贮存和高温工作温度相同时,高温工作试验的温度稳定时间可以省略。

注 2: 进行本试验时需要考虑电池在高温环境条件下的安全性问题。

6.8.2 低温

6.8.2.1 低温贮存

低温贮存试验步骤如下:

- 将无人机系统放置到试验箱(室)内,安装完成后对外观和功能/性能进行检测,记录检测结果,以确保安装完好;
- 无人机系统不工作,以不大于 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的温度变化速率将试验箱(室)内温度调节至有关文件规定的低温贮存温度,保持此温度直至温度稳定后再保持 3 h;
- 以不大于 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的温度变化速率将试验箱(室)内温度恢复到实验室环境温度,直至无人机系统温度稳定;
- 对外观和功能/性能进行检测,记录检测结果。

6.8.2.2 低温工作

低温工作试验步骤如下:

- 将无人机系统放置到试验箱(室)内,安装完成后对外观和功能/性能进行检测,记录检测结果,

以确保安装完好；

- b) 启动无人机系统,以不大于 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的温度变化速率将试验箱(室)内温度调节至有关文件规定的低温工作温度,保持此温度直至温度稳定；
- c) 对功能/性能进行检测,并记录检测结果；
- d) 让无人机系统停止工作(也可在恢复到实验室环境温度后再进行此项操作),以不大于 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的温度变化速率将试验箱(室)内温度恢复到实验室环境温度,直至温度稳定；
- e) 对外观和功能/性能进行检测,记录检测结果。

注1:低温贮存和低温工作试验可以合并进行,当低温贮存和低温工作温度相同时,低温工作试验的温度稳定时间可以省略。

注2:试验结束时被试品处于低温状态,考虑对其进行烘干处理,以避免由于被试品上产生凝露而影响其性能。

6.8.3 淋雨

淋雨试验按 GB/T 4208 执行。

6.8.4 湿热

湿热试验按 HB 6167.4—2014 执行。

6.8.5 振动

振动试验步骤如下：

- a) 将无人机系统刚性固定在振动台工作台上并在重点关注位置粘贴传感器(如桨叶、载荷接口附近等),传感器应刚性安装,其安装支架不应对被测部分的相应特性产生明显的变化,对外观和功能/性能进行检测,记录检测结果,以确保安装完好；
- b) 启动无人机系统,对被试品三个轴向依次进行试验。每轴向试验期间对功能/性能进行检测,记录检测结果；
- c) 试验结束后对外观和功能/性能进行检测,记录检测结果。

6.8.6 冲击

冲击试验步骤如下：

- a) 将无人机系统刚性固定在振动台工作台上并粘贴传感器,对外观和功能/性能进行检测,记录检测结果,以确保安装完好；
- b) 启动无人机系统,对三个相互垂直的方向进行冲击试验,每个方向上冲击3次；
- c) 对外观和功能/性能进行检测,记录检测结果。

6.9 电磁兼容性

6.9.1 通则

无人机系统应进行表5规定的发射和抗扰度试验,并达到要求的结果,以确保其在实际运行中的电磁兼容性。

无人机应采用支撑系统固定,按照台式设备要求进行电磁兼容性能试验。

注:支撑系统材质应为绝缘材料,在无人机和周围环境之间不构成导电通路。

表 5 发射和抗扰度试验项目

试验类型	试验项目	试验对象
发射试验	传导发射	适用于地面控制单元
	辐射发射	适用于无人机系统
抗扰度试验	射频电磁场辐射	适用于无人机系统
	工频磁场	适用于无人机系统
	脉冲磁场	适用于无人机系统
	静电放电	适用于无人机系统
	电快速瞬变脉冲群	适用于地面控制单元
	浪涌	适用于地面控制单元
	射频场感应的传导骚扰	适用于地面控制单元
	电压暂降、短时中断	适用于地面控制单元

6.9.2 发射试验

6.9.2.1 传导发射

6.9.2.1.1 试验条件

试验仅适用于地面控制单元。测试应在下列条件下进行：

- 无人机系统应在典型工作状态下；
- 测量接收机：准峰值测量接收机应符合 GB/T 6113.101 规定的要求；平均值测量接收机应符合 GB/T 6113.101 规定的要求，并具有 6 dB 带宽；应采用 GB/T 6113.102 规定的 V 型人工电源网络(50 Ω /50 μ H 或 50 Ω /50 μ H+5 Ω)；
- 测试频段：150 kHz~30 MHz；
- 试验场所应符合 GB/T 6113.101 的要求。

6.9.2.1.2 试验步骤

仅对地面控制单元的交流输入电源端口(包括使用独立交流/直流电源转换器一起销售的设备)以及电信网络进行。试验按照 GB/T 9254 相关条款进行，具体步骤如下：

- 将地面控制单元按照 GB/T 9254 相关条款进行布置；
- 无人机系统通电，完成自检，处于待机状态；
- 调试无人机处于悬空飞行状态(如，固定高度距离桌面 1.0 m~2.0 m 距离)，同时控制无人机转向并执行相关功能，如摄像等；
- 对地面控制单元相关端口施加试验；
- 记录试验结果。

对于根据使用说明书，不建议插电操作的便携式地面控制单元(如遥控手柄等)，则可在仅地面控制单元关机充电的情况下进行试验，此时，试验仅针对地面控制单元(包括使用独立交流/直流电源转换器一起销售的设备)的交流输入电源端口进行。

6.9.2.1.3 试验限值

根据无人机系统的使用环境及用途，应采用 GB/T 17799.3 或 GB/T 17799.4 规定的限值。

6.9.2.2 辐射发射

6.9.2.2.1 试验条件

试验适用于无人机系统。测试应在下列条件下进行：

- a) 无人机系统应在典型工作状态下；
- b) 测量接收机：准峰值测量接收机应符合 GB/T 6113.101 规定的要求；平均值测量接收机应符合 GB/T 6113.101 规定的要求，并具有 6 dB 带宽；峰值测量接收机应符合 GB/T 6113.101 规定的要求，并具有 6 dB 带宽；
- c) 测试频段：30 MHz~6 000 MHz；
- d) 试验场地应符合 GB/T 6113.101 的要求。

6.9.2.2.2 试验步骤

试验可在 3 m、10 m 或 30 m 的测量距离上进行，其中 3 m 测试距离只适用于小型设备[整体(包括电缆)在直径 1.2 m、接地平面上 1.5 m 高的圆柱形测试区域内]。

试验方法按照 GB/T 9254 相关条款进行。具体步骤如下：

- a) 将挂载了任务设备的无人机通过绝缘支架固定于 80 cm 的桌面之上；将地面控制单元置于桌面之上，并处于待机状态。

注：地面控制单元可外接电源以保证其在过程中始终处于待机工作状态。准备同型号地面控制单元一套，放置于电波暗室外，保证试验人员在电波暗室外可对无人机进行操控。

- b) 无人机系统通电，完成自检，确保暗室内无人机系统处于待机状态。
- c) 设定接收天线极化，使用电波暗室外部的同型号地面控制单元控制无人机处于悬空飞行状态（固定高度距离桌面 1.0 m~2.0 m 距离），同时控制无人机转向并执行相关功能，如摄像等。
- d) 开始测试。
- e) 记录试验结果。

6.9.2.2.3 试验限值

根据无人机系统的使用环境及用途，应采用 GB/T 17799.3 或 GB/T 17799.4 规定的限值。

6.9.3 抗扰度

6.9.3.1 抗扰度试验性能判据

试验结果应根据被试品的功能丧失或性能降级程度进行分类。可分为 A、B、C、D 4 个等级。

被试品功能丧失或性能降低包括：

- a) 信号传输中断或丢失；
- b) 无人机对操控信号无响应或控制性能降低；
- c) 影像传输中断或出现迟滞、马赛克、雪花、条纹、重影等现象；
- d) 任务设备对操控信号无响应或转动、拍摄等控制性能降低；
- e) 其他功能丧失或性能的降低。

A、B、C、D 4 个等级划分标准为：

——A 级：各项功能和性能正常。

——B 级：未出现 a) 和 b) 中所列现象。出现 c)、d) 和 e) 中任意现象，且干扰停止后可在 2 min(含) 内自行恢复，无需操作人员干预。

——C 级：未出现 a) 和 b) 中所列现象。出现 c)、d) 和 e) 中任意现象，且干扰停止 2 min 后仍不能自

行恢复,在操作人员对其进行复位或重新启动操作后可恢复。

- D级:出现 a) 和 b) 中任意现象;或未出现 a) 和 b) 中所列现象,但出现 c)、d) 和 e) 中任意现象,且因硬件或软件损坏、数据丢失等原因不能恢复。

6.9.3.2 射频电磁场辐射抗扰度

6.9.3.2.1 试验条件

试验适用于无人机系统。试验应在电波暗室内进行,并满足下列条件:

- 频率范围:根据无人机系统的使用环境及用途,选择 GB/T 17799.1 或 GB/T 17799.2 规定的频率范围;
- 调制频率:1 kHz;
- 调制深度:80%;
- 场强:根据无人机系统的使用环境及用途,选择 GB/T 17799.1 或 GB/T 17799.2 规定的试验等级;
- 扫描速率:当前频率 1%;
- 驻留时间:不低于 1 s;
- 性能判据:A。

6.9.3.2.2 试验步骤

试验按照 GB/T 17626.3 相关条款进行布置。试验方法步骤如下:

- a) 将挂载了任务设备的无人机通过绝缘支架固定于 80 cm 的桌面之上,固定将其正面(机头所在面)与校准均匀面重合;将地面控制单元置于桌面之上,并处于待机状态。
注:地面控制单元可外接电源以保证其在过程中始终处于待机工作状态。准备同型号地面控制单元一套,放置于电波暗室外,保证试验人员在电波暗室外可对无人机进行操控。
- b) 无人机系统通电,完成自检,确保暗室内无人机系统处于待机状态。
- c) 设定发射天线极化,使用电波暗室外部的同型号地面控制单元控制无人机处于悬空飞行状态(固定高度距离桌面 1.0 m~2.0 m 距离),同时控制无人机转向并执行相关功能,如摄像等。
- d) 开始测试,观察并记录下扫描频率范围内受试设备各项功能和性能的变化情况。
- e) 打开暗室,确认无人机飞行正常,地面控制单元处于待机状态,则更换发射天线极化。重复步骤 d)。
- f) 记录试验结果。

6.9.3.3 工频磁场抗扰度

6.9.3.3.1 试验条件

试验适用于无人机系统。试验应满足下列条件:

- 频率:50 Hz、60 Hz、16.67 Hz 或其他,可根据具体应用环境选择,如设备预计仅在单一工频环境下使用,则仅需在该工频下进行试验;
- 场强:根据无人机系统的使用环境及用途,选择 GB/T 17799.1 或 GB/T 17799.2 规定的试验等级;
- 持续时间:至少 1 min;
- 性能判据:A。

6.9.3.3.2 试验步骤

试验按照 GB/T 17626.8 相关条款进行布置。试验方法步骤如下:

- a) 将感应线圈套在无人机系统及其附件外部合适位置,使无人机系统及其附件置于感应线圈产生的磁场中;
- b) 无人机系统通电,完成自检,处于待机状态;
- c) 施加相应等级的工频磁场,持续至少 1 min,期间观察并记录受试设备各项功能和性能变化情况;
- d) 将感应线圈旋转 90°套在无人机系统外部合适位置,重复步骤 c),直至在 3 个互相垂直的磁场中进行了试验;
- e) 将无人机放在感应线圈外,在感应线圈中合适位置放入地面控制单元,重复步骤 c)~d);
- f) 记录试验结果。

6.9.3.4 脉冲磁场抗扰度

6.9.3.4.1 试验条件

试验适用于无人机系统。

该项目为选做项目,宜根据具体的应用环境而定,预计用于电力行业以及铁路系统的无人机系统应进行该项试验,试验等级的选择可根据具体标准而定。

试验应满足下列条件:

- 场强:宜根据应用环境及其他相关标准和要求而定;
- 极性:正、负;
- 试验次数:各 5 次;
- 试验间隔:10 s;
- 性能判据:B。

6.9.3.4.2 试验步骤

试验按照 GB/T 17626.9 相关条款进行布置。试验方法步骤如下:

- a) 将感应线圈套在无人机系统及其附件外部合适位置,使无人机系统及其附件置于感应线圈产生的磁场中;
- b) 无人机系统通电,完成自检,处于待机状态;
- c) 施加相应等级的脉冲磁场,正、负极性各进行 5 次,每次间隔时间 10 s,期间观察并记录受试设备各项功能和性能变化情况;
- d) 将感应线圈旋转 90°套在无人机系统外部合适位置,重复步骤 c),直至在三个互相垂直的磁场中进行了试验;
- e) 将无人机系统放在感应线圈外,在感应线圈中合适位置放入地面控制单元,重复步骤 c)~d);
- f) 记录试验结果。

6.9.3.5 静电放电抗扰度

6.9.3.5.1 试验条件

试验适用于无人机系统。试验应满足下列条件:

- 接触放电电压:根据无人机系统的使用环境及用途,选择 GB/T 17799.1 或 GB/T 17799.2 规定的试验等级;
- 空气放电电压:根据无人机系统的使用环境及用途,选择 GB/T 17799.1 或 GB/T 17799.2 规定的试验等级;
- 极性:正、负;

- 试验次数:各 10 次;
- 试验间隔:不小于 1 s;
- 试验判据:B。

6.9.3.5.2 试验步骤

试验按照 GB/T 17626.2 相关条款进行布置。具体试验步骤如下:

- a) 将 0.8 m 高的木质试验台放置在与实验室安全接地系统相连接的接地(参考)平面上,在试验台上合适的位置放置水平耦合板。
- b) 在水平耦合板上放置 0.5 mm 厚的绝缘垫,将无人机系统放置在绝缘垫上,并按照正常工作要求进行布线和接线。无人机系统以及连接电缆等通过绝缘垫与水平耦合板隔开,与水平耦合板各边距离不小于 0.1 m,与实验室墙壁以及其他金属结构之间的距离不小于 1 m。
- c) 将垂直耦合板置于绝缘垫上,与无人机平台正面(机头所在平面)平行距离 0.1 m。
- d) 将地面控制单元同时布置于试验台上。
- e) 将静电放电枪的放电回路电缆与接地(参考)平面相连。通过专用电缆(两端各有一个 470 k Ω 的电阻)将水平耦合板与接地(参考)平面相连接。
- f) 无人机系统通电,完成自检,处于待机状态。
- g) 依次针对无人机平台和地面控制单元选择放电点进行接触放电,试验电压由低等级直至要求的试验等级,时间间隔 1 s,观察并记录受试设备各项功能和性能变化情况。
- h) 依次针对无人机平台和地面控制单元选择放电点进行空气放电,试验电压由低等级直至要求的试验等级,时间间隔 1 s,观察并记录受试设备各项功能和性能变化情况。
- i) 记录试验结果。

6.9.3.6 电快速瞬变脉冲群抗扰度

6.9.3.6.1 试验条件

试验仅适用于地面控制单元。试验应满足下列条件:

- 试验等级:根据无人机系统的使用环境及用途,选择 GB/T 17799.1 或 GB/T 17799.2 规定的试验等级;
- 重复频率:5 kHz;
- T_r/T_f :5/50 ns;
- 极性:正、负;
- 试验次数:各 1 次;
- 试验间隔:不小于 1 min;
- 试验判据:B。

6.9.3.6.2 试验步骤

仅对地面控制单元电源端口和相关信号端口进行。试验步骤按照 GB/T 17626.4 相关条款进行,具体步骤如下:

- a) 将地面控制单元按照 GB/T 17626.4 相关条款进行布置;
- b) 无人机系统通电,完成自检,处于待机状态;
- c) 调试无人机处于悬空飞行状态(如,固定高度距离桌面 1.0 m~2.0 m 距离),同时控制无人机转向并执行相关功能,如摄像等;
- d) 对地面控制单元相关端口施加试验,观察并记录无人机系统各项功能和性能变化情况;

e) 记录试验结果。

对于根据使用说明书,不建议插电操作的便携式地面控制单元(如遥控手柄等),则可在仅地面控制单元关机充电的情况下进行试验,此时,试验仅针对地面控制单元的电源端口进行。试验后,无人机系统通电,应能正常工作。

6.9.3.7 浪涌抗扰度

6.9.3.7.1 试验条件

试验仅适用于地面控制单元。试验应满足下列条件:

- 试验等级:根据无人机系统的使用环境及用途,选择 GB/T 17799.1 或 GB/T 17799.2 规定的试验等级;
- 试验波形:1.2/50(8/20) μ s;
- 极性:正、负;
- 试验次数:各 5 次;
- 试验间隔:不小于 1 min;
- 试验判据:B。

6.9.3.7.2 试验步骤

仅对地面控制单元电源端口和相关信号端口进行。试验步骤按照 GB/T 17626.5 相关条款进行,具体步骤如下:

- a) 将地面控制单元按照 GB/T 17626.5 相关条款进行布置;
- b) 无人机系统通电,完成自检,处于待机状态;
- c) 调试无人机处于悬空飞行状态(如,固定高度距离桌面 1.0 m~2.0 m 距离),同时控制无人机转向并执行相关功能,如摄像等;
- d) 对地面控制单元相关端口施加试验,观察并记录无人机系统各项功能和性能变化情况;
- e) 记录试验结果。

对于根据使用说明书,不建议插电操作的便携式地面控制单元(如遥控手柄等),则可在仅地面控制单元关机充电的情况下进行试验,此时,试验仅针对地面控制单元的电源端口进行。试验后,无人机系统通电,应能正常工作。

6.9.3.8 射频场感应的传导骚扰抗扰度

6.9.3.8.1 试验条件

试验仅适用于地面控制单元。试验应满足下列条件:

- 调制频率:1 kHz;
- 调制深度:80%;
- 试验等级:根据无人机系统的使用环境及用途,选择 GB/T 17799.1 或 GB/T 17799.2 规定的试验等级;
- 扫描速率:当前频率 1%;
- 驻留时间:不低于 1 s;
- 性能判据:A。

6.9.3.8.2 试验步骤

仅对地面控制单元电源端口和相关信号端口进行。试验步骤按照 GB/T 17626.6 相关条款进行,

具体步骤如下：

- a) 将地面控制单元按照 GB/T 17626.6 相关条款进行布置；
- b) 无人机系统通电，完成自检，处于待机状态；
- c) 调试无人机处于悬空飞行状态（如，固定高度距离桌面 1.0 m～2.0 m 距离），同时控制无人机转向并执行相关功能，如摄像等；
- d) 对地面控制单元相关端口施加试验，观察并记录无人机系统各项功能和性能变化情况；
- e) 记录试验结果。

对于根据使用说明书，不建议插电操作的便携式地面控制单元（如遥控手柄等），则可在仅地面控制单元关机充电的情况下进行试验，此时，试验仅针对地面控制单元的电源端口进行。试验后，无人机系统通电，应能正常工作。

6.9.3.9 电压暂降和短时中断

6.9.3.9.1 试验条件

试验仅适用于地面控制单元。

带有内置 UPS 不间断电源的地面控制单元，该项试验宜免测。试验应满足下列条件：

- 试验等级：根据无人机系统的使用环境及用途，选择 GB/T 17799.1 或 GB/T 17799.2 规定的试验等级；
- 性能判据：B/C。

6.9.3.9.2 试验步骤

仅对地面控制单元（包括使用独立交流/直流电源转换器一起销售的设备）的交流输入电源端口进行。试验步骤按照 GB/T 17626.1 相关条款进行。

- a) 将地面控制单元按照 GB/T 17626.1 相关条款进行布置；
- b) 无人机系统通电，完成自检，处于待机状态；
- c) 调试无人机处于悬空飞行状态（如，固定高度距离桌面 1.0 m～2.0 m 距离），同时控制无人机转向并执行相关功能，如摄像等；
- d) 对地面控制单元的交流电源端口施加试验，观察并记录无人机系统各项功能和性能变化情况；
- e) 记录试验结果。

对于根据使用说明书，不建议插电操作的便携式地面控制单元（如遥控手柄等），则可在仅地面控制单元关机充电的情况下进行试验，此时，试验仅针对地面控制单元的电源端口进行。试验后，无人机系统通电，应能正常工作。

附录 A
(规范性附录)
遥控遥测距离试验步骤

A.1 遥控距离

使用无线测试设备测试无人机的接收灵敏度、地面遥控设备发射机最大发射功率,无线通信中心频率,具体步骤如下:

- a) 测量地面遥控设备无线发射的中心频率、发射端功率,每个参数测试样本数不少于 10,取平均值;
- b) 调整测试设备的发射功率,测量无人机接收灵敏度,测试样本数不少于 10,取平均值;
- c) 通过式(A.1)和式(A.2)解算遥控最大遥控距离。

无线信号空间损耗由式(A.1)计算得出:

$$LFS = P_t - C_t + G_t - P_r + G_r - C_r \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

LFS —— 空间传输损耗,单位为分贝(dB);
 P_r —— 接收端灵敏度,单位为分贝(dB);
 P_t —— 发射端功率,单位为分贝(dB);
 G_r —— 接收端天线增益,单位为分贝(dB);
 G_t —— 发射端天线增益,单位为分贝(dB);
 C_r —— 接收端接头与线缆损耗,单位为分贝(dB);
 C_t —— 发送端接头与线缆损耗,单位为分贝(dB)。

无线通信距离由式(A.2)计算得出:

$$20\lg d = LFS - 32.44 - 20\lg f \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

LFS —— 空间传输损耗,单位为分贝(dB);
 d —— 传播距离,单位为千米(km);
 f —— 中心频率,单位为兆赫兹(MHz)。

此方法为实验室模拟方法,测试结果一般应减去 10 dB 的余量后求得最终的遥控距离。

A.2 遥测距离

使用无线测试设备测试无人机发射机最大发射功率、地面遥测设备接收机灵敏度,无线通信中心频率,具体试验步骤如下:

- a) 测量无人机发射机发射的中心频率、发射端功率,每个参数测试样本数不少于 10,取平均值;
- b) 调整测试设备的发射功率,测量地面遥测设备接收灵敏度,测试样本数不少于 10,取平均值;
- c) 通过式(A.1)和式(A.2)解算遥控最大遥测距离。

此方法为实验室模拟方法,测试结果一般应减去 10 dB 的余量后求得最终的遥测距离。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
民用多旋翼无人机系统试验方法
GB/T 38058—2019

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

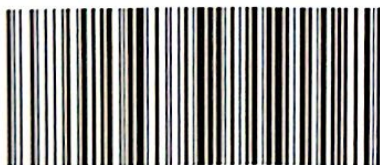
*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 62 千字
2019年10月第一版 2019年10月第一次印刷

*

书号: 155066·1-63523 定价 59.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 38058-2019

