



中华人民共和国认证认可行业标准

RB/T XXXXX—XXXX

轻小型旋翼无人机评价方法

Evaluation approaches of light and small rotors

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（征求意见稿）

（本稿完成日期：）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX

中国国家认证认可监督管理委员会
发布

目 次

前言 VI

引言 VII

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 分类 4

5 评价条件 4

 5.1 通用条件 4

 5.2 测量仪器、仪表准确度和误差 5

 5.3 软件评价环境 5

 5.4 电磁兼容性评价条件 5

6 实验准备 6

 6.1 样品和场地准备 6

 6.2 试验现场管理 6

 6.3 应急预案 6

7 通用要求评价方法 7

8 电气安全评价方法 7

 8.1 抗电强度 7

 8.2 接触电流和保护导体电流 7

 8.3 绝缘电阻 7

 8.4 温升 7

 8.5 电池性能及安全 7

 8.5.1 预处理循环 7

 8.5.2 单体蓄电池充电 7

 8.5.3 电池组充电 7

 8.5.4 电池组（初始）室温放电容量 8

 8.5.5 电池组室温下循环寿命评价 8

 8.5.6 过放电 8

 8.5.7 过充电 8

 8.5.8 短路 8

 8.5.9 跌落 8

 8.5.10 加热 8

 8.5.11 挤压 8

 8.5.12 针刺 8

8.5.13	海水浸泡	8
8.5.14	温度循环	8
8.5.15	低气压	8
8.5.16	充电器	9
8.6	电机寿命	9
8.7	堵转	9
9	遥控遥测数据链功能评价	9
9.1	显示、任务规划和操纵功能	9
9.2	失效保护功能	9
9.2.1	遥测内容、记录和回放功能	9
9.3	地面站报警功能	10
9.4	频点切换功能	10
9.5	遥控内容	10
9.6	遥控/遥测最大作用距离	10
9.7	工作频段	10
9.8	等效全向辐射功率	11
9.9	杂散辐射功率	11
9.10	接收机灵敏度	12
9.11	天线要求	13
9.12	邻道选择性	13
9.13	邻道抑制比	14
9.14	传输误码率	14
9.15	响应时延	14
9.16	指令安全性	14
10	导航及定位系统评价	15
10.1	总则	15
10.2	组成	15
10.3	输出	15
10.4	水平定位精度	15
10.5	高程保持精度	15
10.6	首次定位时间	15
10.6.1	冷启动首次定位时间	15
10.6.2	热启动首次定位时间	16
10.6.3	重捕获时间	16
10.7	灵敏度	16
10.7.1	捕获灵敏度	16
10.7.2	重捕获灵敏度	16
10.7.3	跟踪灵敏度	16
10.8	动态性能	16
10.9	位置更新率	17
10.10	功耗	17

11	无人机系统安全软件通用要求评价方法	17
11.1	软件版本管理	17
11.2	软件功能评价	17
11.2.1	系统任务流程	17
11.2.2	上电自检	17
11.2.3	飞行控制管理	17
11.2.4	综合信息处理及显示	18
11.2.5	任务规划	18
11.2.6	载荷控制管理	19
11.2.7	遥控遥测	19
11.2.8	限定空域和高度飞行控制	19
11.2.9	接口评价	19
11.2.9.1	互联互通	19
11.2.9.2	内部通信	19
11.2.10	存储能力	19
11.2.11	可靠性	20
11.2.12	人机交互界面评价	20
11.2.12.1	界面易操作性	20
11.2.12.2	界面健壮性	20
11.2.12.3	界面防错性	20
11.2.12.4	界面响应时间	20
11.3	性能评价	20
11.3.1	自检时间无人机系统软件飞行控制设备向地面下发遥测数据的周期，满足周期时间要求。	20
11.3.2	数据存储时间	20
11.4	其他评价项目	21
11.5	余量评价	21
11.5.1	RAM 余量	21
11.5.2	FLASH 余量	21
11.6	监视管理评价	21
12	续航能力评价方法	21
12.1	续航能力通用要求	21
12.1.1	剩余电量提示	21
12.1.2	低电量试验	21
12.2	工况续航能力评价	21
12.2.1	室内空载悬停评价	21
12.2.2	室内额定载荷悬停评价	22
12.2.3	室外场地空载续航能力评价	22
12.2.4	室外场地额定载荷续航评价	22
12.2.5	室外场地工况续航能力评价	22
13	环境适应性评价方法	22

13.1	高温存储	22
13.2	高温工作	22
13.3	低温存储	23
13.4	低温工作	23
13.5	温度冲击试验	23
13.6	湿热试验	23
13.7	盐雾试验	23
13.8	低气压试验	23
13.9	砂尘试验	23
13.10	淋雨试验	23
13.11	冲击试验	23
13.12	振动试验	23
14	电磁兼容性评价	24
14.1	试验要求	24
14.2	辐射骚扰场强试验	24
14.2.1	评价条件	24
14.2.2	评价步骤	24
14.3	传导发射评价	25
14.3.1	评价条件	25
14.3.2	评价步骤	25
14.4	工频磁场抗扰度	25
14.5	辐射抗扰度	25
14.6	静电放电抗扰度	26
14.7	传导抗扰度	26
14.8	电快速瞬变脉冲群抗扰度	26
14.9	浪涌（冲击）抗扰度	26
14.10	电压暂降和短时中断抗扰度	27
附录 A（规范性附录）	工况一：一般低空工况示意图	28
附录 B（规范性附录）	工况二：一般中低空工况示意图	29
附录 C（规范性附录）	工况三：一般植保工况示意图	31
附录 D（规范性附录）	工况四：一般长航时工况示意图	33
附录 E（资料性附录）	定位精度的数据处理方法	34
附录 F（规范性附录）	软件安全可选项目	37
参考文献		41

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中国国家认证认可监督管理委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国质量认证中心，中国安全技术防范认证中心，西安爱生技术集团公司，中国航天科技集团公司第五研究院第五一四研究所，中国北方车辆研究所，中国电子科技集团公司第五十四研究所，农业部南京农业机械化研究所植保与环境工程技术中心，公安部安全与警用电子产品质量检测中心，国家安防报警系统产品质量监督检验中心（上海），中国测绘科学研究院遥感工程技术中心，国家测绘地理信息计量站国家光电测距仪检测中心，航天中认软件测评科技（北京）有限责任公司，北京城市科学技术研究院，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，全球鹰（深圳）有限公司。

本标准起草人：

樊邦奎、任国勤、王江东、王湛、冯晓川、张洋、王亮、胡永红、张瑞雨、陈强、薛仁魁、夏天、兰雪梅、杨文斌、武新波、彭明、王田、常猛、姜震、闫嘉硕、马浩原、张博凯、赵鹏、张美玉、胡道中、张毅、刘坤、刘洪波、徐春常、魏凌、石磊、杨宏伟、毛德强、王世琦、魏敬波、万豪、陈小兵、刘燕、刘剑锋、陆晓科、胡志昂、黄瑾、李英成、薛艳丽、朱祥娥、方爱国、徐寿志、谷文力、董志强、侯涛、杨帆、包雷敏、顾宏伟、龙圣、陈昱、孙越、张琛、车嘉兴、余景兵、王铎、王垚。

引 言

本标准方法是轻小型旋翼无人机评价依据。

目前，无人机的发展受到民用和军事应用的广泛关注。其电气安全、锂电池安全、测控系统、导航定位能力、软件可靠性、续航能力、电磁兼容性、环境适应性是影响无人机安全的核心，这些方面在很大程度上决定着无人机的安全飞行。为了对轻小型旋翼无人机系统进行全面、科学的评价特制定本方法标准。

轻小型旋翼无人机评价方法

1 范围

本标准规定了轻小型多旋翼无人机系统在电气安全、测控系统、导航定位能力、软件可靠性、续航能力、环境适应性、电磁兼容性方面的评价方法。

本标准适用于轻小型旋翼无人机系统的设计、制造、检验和验收，其他动力单旋翼、固定翼和垂直起降固定翼无人机的测控系统可参照执行。

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，仅所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 4943.1 信息技术设备安全

GB 9254 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法

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 191 包装储运图示标志

GJB 150.2A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第2部分：低气压(高度)试验

GJB 150.3A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第3部分：高温试验

GJB 150.4A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第4部分：低温试验

GJB 150.5A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第5部分：温度冲击试验

GJB 150.8A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第8部分：淋雨试验

GJB 150.11A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第11部分：盐雾试验

GJB 150.12A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第12部分：砂尘试验

GJB 150.16A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第16部分：振动试验

GJB 150.18A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第18部分：冲击试验

GB/T 31485-2015 电动汽车用动力蓄电池安全要求及试验方法

GB/T 31467.1-2015 电动汽车用锂离子动力蓄电池包和系统 第1部分 高功率应用测试规程

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 6113.201 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范第2-1部分：无线电骚扰和抗扰度测量方法 传导骚扰测试

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 17626.11 电磁兼容 试验和测量技术 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验

GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）

3 术语和定义

3.1

无人机 Unmanned aerial vehicles system

由动力驱动、机上无人驾驶的航空飞行器的简称。它通常由机体、动力装置、航空电子电气设备、等组成。

3.2

无人机系统 UAVs

以无人机为主体，配有相关的分系统，能执行特定任务的一组设备。无人机系统通常由无人机机体、任务载荷设备、测控系统和信息传输分系统、地面控制站、分系统等组成。

3.3

无人机系统软件 soteware of UAVs

无人机系统软件，是指嵌入或运行在无人机系统硬件设备的软件，包括计算机程序、相关文档和数据，以及固化在硬件中的程序和数据，主要以嵌入式软件为主。无人机软件主要实现无人机系统飞行控制、载荷控制、数据处理和管理显示等功能。

3.4

测控系统 telecommand and telemetry system

用于无人机遥控、遥测和任务载荷信息传输的整套设备，包括数据链和控制站。

3.5

数据链 Data link

实现控制站和无人机之间数据收发的设备。轻小型无人机数据链一般包括无线电遥控设备、无线电遥测设备和信息传输系统，同时无线电测控信道一般与信息传输信道统一设计或共用。

3.6

控制站 Control Station

用于实现任务规划、链路控制、飞行控制、载荷控制、航迹显示、参数显示和载荷信息显示等的设备，设置在地面的控制站称为地面站（也称遥控器）。

3.7

上行链路 Uplink

从无人机控制信息输入到无人机控制信息输出之间的数据传输链路。

3.8

下行链路 Downlink

从无人机遥测信息和任务载荷数据输入到无人机遥测信息和任务载荷数据输出之间的数据传输链路。

3.9

无人机导航定位系统 navigation and position system loaded in UAV

无人机装载的导航定位设备，其主要任务是利用卫星导航系统为无人机飞行提供实时导航定位，系统通常由用户机、发射接收装置、操作显示系统等。

3.10

冷启动首次定位时间 cold start time to first fix

用户设备在星历、历书、概略时间和概略位置未知的状态下，从开机到首次正常定位所需的时间。

3.11

热启动首次定位时间 warm start time to first fix

用户设备在星历、历书、概略时间和概略位置已知的状态下，从开机到首次正常定位所需的时间。

3.12

重捕获时间 reacquisition time

用户设备在接收的导航信号短时失锁后，从信号恢复到重新捕获导航信号所需的时间。

3.13

捕获灵敏度 acquisition sensitivity

用户设备在冷启动条件下，捕获导航信号并正常定位所需的最低信号电平。

3.14

重捕获灵敏度 reacquisition sensitivity

用户设备在接收的导航信号短时失锁后，重新捕获导航信号并正常定位所需的最低信号电平。

3.15

跟踪灵敏度 tracking sensitivity

用户设备在正常定位后，能够继续保持对导航信号的跟踪和定位所需的最低信号电平。

3.16

堵转 locked rotor

设备在有交流电压输入，但马达处于不转动的状态。

3.17

温升 temperature rise test

电子电气设备中的各个部件高出环境的温度。

3.18

产品标识 Product Identification

用于识别产品及其质量、数量、特征、特性和使用方法所做的各种表示的统称。

3.19

锂离子电池 lithium ion cell

含有锂离子的能够直接将化学能转化为电能的装置。该装置包括电极、隔膜、电解质、容器和端子等，并被设计成可充放电。以下简称“电池”。

3.20

锂离子电池组 lithium ion battery

由任意数量的锂离子电池组合而成且准备使用的组合体。该组合体包括适当的封装材料、连接器，也可能含有电子控制装置。以下简称“电池组”。

3.21

充电限制电压 limited charging voltage

制造商规定的电池或电池组的额定最大充电电压。

3.22

放电截止电压 cut-off voltage

制造商规定的放电终止时电池或电池组的负载电压。

3.23

额定容量 rated capacity

由制造商标明的有效放电容量，用C表示，单位为安时（Ah）或毫安时（mAh）。

3.24

泄漏 leakage

可见电解质或其他物质从电池或电池组中漏出。

3.25

破裂 rupture

由于内部或外部因素引起的电池外壳或电池组壳体的机械损伤，导致内部物质暴露或溢出，但没有喷出；或者导致电池组器件暴露的保护壳体的机械损伤。

3.26

起火 fire

从电池或电池组中发出可见火焰。

3.27

爆炸 explosion

电池或电池组外壳破裂，内部有固体物质从电池中抛射出来，并发出爆裂声。

3.28

被试品 Equipment Under Test

试验中的受试样品。

3.29

缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BDS——BeiDou Navigation Satellite System，北斗卫星导航系统；

HDOP——Horizontal Dilution Of Precision，水平精度因子；

GLONASS——Global Navigation Satellite System，格洛纳斯卫星导航系统；

GNSS——Global Navigation Satellite Systems，全球卫星导航系统；

GPS——Global Positioning System，全球定位系统；

UTC——Universal Time Coordinated，协调世界时。

EUT——Euipment 待检样品

3.30

标识 marking

标识是指出现在设备上、附件或者包装箱上的印刷品和伴随设备的所有文件资料。

4 分类

根据《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》规定，民用无人机分为微型、轻型、小型、中型、大型。本标准涉及要求范围覆盖其中的微型、轻型、小型。

具体如下：

微型无人机，是指空机重量 $<0.25\text{kg}$ ，设计性能同时满足飞行真高 $\leq 50\text{m}$ 、最大飞行速度 $\leq 40\text{km/h}$ 、无线电发射设备符合微功率短距离无线电发射设备技术要求的遥控驾驶航空器；

轻型无人机，是指同时满足空机重量 $<4\text{kg}$ ，最大起飞重量 $\leq 7\text{kg}$ ，最大飞行速度 $\leq 100\text{km/h}$ ，具备符合空域管理要求的空域保持能力和可靠被监视能力的遥控驾驶航空器，但不包括微型无人机；

小型无人机，是指空机重量 $<15\text{kg}$ 或最大起飞重量 $\leq 25\text{kg}$ 的无人机，但不包括微型、轻型无人机。

5 评价条件**5.1 通用条件**

除另有规定外，应在下列标准大气条件下进行：

- a) 温度：15℃～40℃；
- b) 相对湿度：20%RH～80%RH；
- c) 大气压力：评价场所气压。

5.2 测量仪器、仪表准确度和误差

测量仪器、仪表准确度的要求如下：

- 电压测量装置：不低于0.5级；
- 电流测量装置：不低于0.5级；
- 温度测量装置：±2K；
- 时间测量装置：±1%（1 min 以上），±5%（1 min 以下）；
- 尺寸测量装置：±1%；
- 质量测量装置：±1%。

测试过程中，控制值或测试值的总误差（相对于期望值或实际值）最低要求如下：

- 电压：±1%；
- 电流：±1%；
- 容量：±1%；
- 温度：±2K。

其他检验设备的测量精度应优于被测系统精度指标的三分之一或一个数量级。同时应定期计量校准合格，证书在有效期内。

5.3 软件评价环境

用户需提供可展开系统软件评价的无人机系统实装设备，以及便于可实施飞行功能验证的评价场所；同时确保无人机系统处于可飞行、可操控的技术状态。同时应记录和标识本次评价环境，包括硬件环境和软件环境，其中硬件环境应标识设备配置及型号等要素，软件环境应标识被测软件版本号以及所需的操作系统、依赖包、驱动等运行环境要素。

5.4 电磁兼容性评价条件

开展电磁兼容性评价应满足以下要求：

- a) 对于发射评价，受试产品应在产生最大发射工作状态下进行测量，应在典型使用 and 实际安装条件下，改变受试产品的配置以获得最大发射。
- b) 对于抗扰度评价，受试产品应在符合正常使用的最敏感的工作方式下进行试验，应变动受试设备的布置以获得与典型使用和实际装置一致的最大敏感度。
- c) 如果产品需要连接辅助设备，那么产品在进行试验时应连接数量最少且有代表性的辅助设备，以便按相关的规定来使用端口。
- d) 如果制造商的技术规范特别要求外部保护装置或措施，并已在用户使用手册中明确作出规定，则应在具有外部保护装置或措施的情况下进行试验。
- e) 评价期间的布置和工况都应准确地记录在试验报告中。如果对产品的每一项功能未必都能进行评价，在这种情况下，要选择最关键的工况来进行评价。
- f) 如果产品有许多类似的端口，或许多端口有类似的连接，那么应选择足够数量的端口来模拟实际工作状态，以保证涉及所有不同类型的终端。
- g) 应在产品规定的温度、湿度和气压范围内，以额定电源电压进行试验，除非基础标准另有规定。

6 实验准备

6.1 样品和场地准备

样品和试验场地应按以下条件准备：

- a) 受试装置交付时需要包括完整的系统和用户手册，包括所有必要的操作的文件，以及和评价设备相连的接口部件(如连接器，插头，必要时包括整机)。制造商需要提供电池包或系统的工作限值，以保证整个评价过程的安全。
- b) 进行飞行试验应符合相关法律法规要求。
- c) 航线规划（如需要），可根据要求预先划设相关飞行航线；特殊情况下，在与供需双方协商同意后，可以用规划的航线制定飞行试验方案，并在试验报告里注明替代原因；航线图；风向风力、温度、雨雪雾等天气信息；山地或平原等地理信息；其他必要的参数和飞行数据。
- d) 设计使用目的包括运输、投放物品的无人机，在载荷试验和工况试验中应使用模拟负载。
- e) 设计需要搭配使用可拆卸的特定的电气载荷才能完成任务的无人机，试验时，需要将该载荷连接至无人机，相关的电气功能应开启。如果其特定载荷由于特殊原因不适合进行随整机评价，那么在供需双方协商一致后可以用模拟特定载荷来代替，但不应对相关试验结果有较明显影响；
- f) 飞行试验场地要求开阔、通视，测控站与被控目标之间应无明显遮挡物，周围无明显电磁干扰信号，同时申请获得符合评价的空域条件；
- g) 飞行试验前，受测产品组装调试完毕，数据链路系统（包括遥控器等）经验证确认工作正常；
- h) 根据掌握的环境数据资料和设备性能指标，判断环境条件是否适合无人机飞行，如不合适，应暂停或取消试验。环境条件包括：海拔高度、地形地貌条件、风向和风速、环境温度和湿度、空气含尘量、电磁环境和雷电情况、起降地面尘土情况、气象条件（云高、云量、光照）等；
- i) 锂离子电池应经过预处理循环；
- j) 卫星定位系统工作正常，收星信号稳定在 6 颗星以上，如使用北斗卫星定位系统，则应按制造商提供的操作手册执行；

6.2 试验现场管理

试验现场的管理关系到人员安全、设备安全以及工作效率，需认真组织，规范操作，现场工作人员应注意检查安全隐患。现场管理主要包括：

- a) 要求除无人机驾驶员外有至少安排 1 人负责飞行现场的统一协调、指挥和技术支持。
- b) 试验设备应集中、整齐摆放，进行室内静态试验时，无关人员禁止进入飞行场地。室外飞行试验时，设备周围 10m*10m 的范围设置明显的警戒标志，飞行前的检测和调试工作在隔离区域进行，非与试验相关人员不允许进入隔离区域，隔离区域应有明显标识。
- c) 试验室应配备黄沙，浓盐水，干粉灭火器，防毒面具。

6.3 应急预案

试验室制定应急预案，应急预案主要应包括：

- a) 无人机系统出现故障后的人工应急干预方法，安全迫降的地点和迫降的方式；
- b) 根据地形地貌制定事故发生后无人机的搜寻方案，并配备相应的便携地面导航设备和快捷的交通工具以及通信方式；
- c) 情况严重的，协调地方政府，调动行政区域内的社会力量参与应急救援；
- d) 电池和无人机起火的消防预案。

7 通用要求评价方法

用目测法在自然光线下检查，产品应符合外观、产品标识、设备标识、可更换部件标识、说明书、包装的相关要求。

8 电气安全评价方法

8.1 抗电强度

采用GB 4943.1标准第5.2章节试验方法进行。

8.2 接触电流和保护导体电流

采用GB 4943.1标准第5.1章节试验方法进行。

8.3 绝缘电阻

采用GB 8898标准第10.3章节试验方法进行。

8.4 温升

采用GB 4943.1标准第4.5章节试验方法进行。

8.5 电池性能及安全

8.5.1 预处理循环

充放电循环应按除制造商推荐的参数下进行。

试验前，锂电池单体或模组应进行3次充放电循环以确保试验时蓄电池模块或系统的性能处于激活和稳定的状态。特殊情况下，制造商可以与试验室协商增加或减少循环次数，报告中应明确体现实际预处理循环次数。

后续每项试验中如果没有特别说明充放电方法，应按以下方法充电后进行：

- a) 电池模组或系统按照 $1I_L$ (A) 或者制造商推荐的方法充电，
- b) 搁置 30min

8.5.2 单体蓄电池充电

室温下，单体蓄电池先以 $1I_L$ (A) 电流放电至企业技术条件中规定的放电终止电压，搁置1h（或企业提供的不大于1h的搁置时间），然后按制造商提供的充电方法进行充电。如企业未提供充电方法，则依据以 $1I_L$ (A) 电流恒流充电至企业技术条件中规定的充电终止电压时转为恒压充电，充至充电电流降至 $0.05I_L$ (A) 时停止充电，充电后搁置1h（或企业提供的不大于1h的搁置时间）。

8.5.3 电池组充电

室温下，电池组先以 $1I_L$ (A) 电流放电至企业技术条件中规定的放电终止电压，搁置1h（或企业提供的不大于1h的搁置时间），然后按企业提供的充电方法进行充电。如企业未提供充电方法，则依据以 $1I_L$ (A) 电流恒流充电至企业技术条件中规定的充电终止电压时转为恒压充电，充至充电电流降至 $0.05I_L$ (A) 时停止充电，若充电过程中有单体蓄电池电压超过重点终止电压0.1V则停止充电。充电后搁置1h（或企业提供的不大于1h的搁置时间）。

8.5.4 电池组（初始）室温放电容量

在预处理完成之后，电池组按 $1I_1$ （A）放电或制造商推荐的方法至制造商规定的截至条件下停止，静置30min，然后按 $1I_1$ （A）或制造商推荐的方法充电达到制造商规定的截至条件下停止，静置30min，之后按 $1I_1$ （A）放电至制造商规定的截至条件下停止，测得放电容量为室温放电容量，其中首次测得的室温下实际放电容量为初始室温放电容量。

8.5.5 电池组室温下循环寿命评价

电池组室温下循环寿命评价方法：

- a) 电池组按照 $1I_1$ （A）或者制造商推荐的方法充电，
- b) 搁置30min
- c) 按照5C放电至制造商规定的截止电压；
- d) 搁置30min
- e) 按照a) ~ d) 连续循环200次。
- f) 按照6.4.5.4 电池组（初始）室温放电容量测试室温下实际放电容量。

8.5.6 过放电

按GB31485-2015中6.2.2规定的方法进行。

8.5.7 过充电

按GB31485-2015中6.2.3规定的方法进行。

8.5.8 短路

按GB31485-2015中6.2.4规定的方法进行。

8.5.9 跌落

按GB31485-2015中6.2.5规定的方法进行。

8.5.10 加热

按GB31485-2015中6.2.6规定的方法进行。

8.5.11 挤压

按GB31485-2015中6.2.7规定的方法进行。

8.5.12 针刺

按GB31485-2015中6.2.8规定的方法进行。

8.5.13 海水浸泡

按GB31485-2015中6.2.9规定的方法进行。

8.5.14 温度循环

按GB31485-2015中6.2.10规定的方法进行。

8.5.15 低气压

按GB31485-2015中6.2.11规定的方法进行。

8.5.16 充电器

按标准标准GB 4943.1对产品配套电池充电器或类似充电设备进行全项目的型式试验，除非所配充电设备已获得相关标准的CCC认证；并比对充电设备的输出电压和输出电流与电池的最大充电电压、最大充电电流，两者应相匹配。

通过视检确认充电设备具备防止错位和极性接反的设计。

8.6 电机寿命

将电机按其最终工作环境安装，在额定电压下，并以不小于标称最大转速（安装最大尺寸的扇叶）连续运行72h。

8.7 堵转

设计带有堵转保护功能的无人机，将电机正常工作至正常温度状态，锁住扇叶以使电机堵转，并测量驱动器应切入保护状态所用时间，在此期间连续测量驱动部件的电流变化。

设计不带有堵转保护功能的无人机，将电机正常工作至正常温度状态，锁住扇叶以使电机堵转至稳定状态，观察驱动器应是否发生可见火焰、爆炸现象；如果发生火焰，火焰是否被控制在防火外壳内不喷出且在火焰熄灭后器具无本标准意义上的危险损坏。

9 遥控遥测数据链功能评价

9.1 显示、任务规划和操纵功能

通过实际操作逐项核验以下内容：

- 任务规划和飞行过程中，核验能否实时调整地图显示，比例尺显示是否合理，并核验航迹在地图上是否按设置的数位置更新率实时更新，在地图上点选两个点，核验测量出距离、方位等数据是否正常；
- 任务规划中，编辑航点的经度、纬度和高度值，核验地图上航线是否随之改变；编辑电子围栏（禁飞区域）的边界坐标，核验其在地图上是否有明显的区块颜色显示；
- 飞行过程中，核验飞行轨迹的经度、纬度和高度值是否按设置的数据更新率实时显示、航点的序号是否与预设相符，地面站具备飞行中更改航点功能的机型，核验航点更改后无人机是否及时飞向新航点；
- 发送某一任务指令，通过任务显示设备核验任务执行情况是否与指令相符；
- 飞行过程中核验回传的图像是否连续稳定，图像质量是否出现明显下降，或其它任务载荷数据显示是否正常。

9.2 失效保护功能

无人机起飞后，通过中断控制器电源的方式中断控制信号，或利用干扰设备阻断控制信号，记录无人机反应结果。

9.2.1 遥测内容、记录和回放功能

通过实际操作逐项核验以下内容：

- 实际飞行中在地面站或其他显示设备上按 5.5.3 a) 确认遥测内容和记录功能是否正常；

- b) 手动开启飞行数据记录功能, 查看地面站存储的数据文件大小是否持续增加, 并按实际的飞行时间和记录的飞行文件大小, 判断记录容量是否满足电池满电状态下两个飞行架次的容量需求;
- c) 打开记录回放软件, 选择记录的数据文件, 开始回放, 查看回放的数据与记录时间内的状态和操纵指令是否相符(爬升、平飞、盘旋、降落等状态), 同时核验回放功能是否具备快放、慢放、暂停/继续、停止等操作。

9.3 地面站报警功能

通过实际操作逐项核验以下内容:

- a) 在飞行前, 确认测控链路开始工作后, 人为设置故障包括但不限于电机供电电路开路、电机故障、电池欠压、磁罗盘电机故障、链路连接故障、导航系统故障或锁定卫星数量不足、电池欠压、传感器(磁罗盘、气压计等)故障和任务设备故障, 核验地面操控设备的报警方式和报警内容, 判断报警是否及时、准确, 且易于辨识、容易引起警觉;
- b) 改变故障出现的顺序, 或并行触发多个故障, 核验报警的实时性和报警顺序。

9.4 频点切换功能

在有效测控距离范围内飞行的过程中, 通过逐个切换上、下行信道频点, 通过频谱仪监视不同频点对应的频谱, 同时核验信道的捕获是否正常, 锁定状态是否可靠, 对遥控指令的响应是否及时、准确, 最大测控距离是否满足要求。针对频点自动切换的机型, 依据其工作频段及频点, 使用专用仪器制造特定的干扰信号, 触发频点切换功能。

9.5 遥控内容

在有效测控距离范围内飞行的过程中, 发送爬升、平飞、盘旋、降落等指令, 每种状态持续不小于1min, 目测飞机是否及时响应遥控指令对应的飞行状态, 同时落地后核验其记录的遥测数据是否与遥控指令对应的状态相一致。

9.6 遥控/遥测最大作用距离

评价环境及设备: 地面或机载测量设备、衰减器;

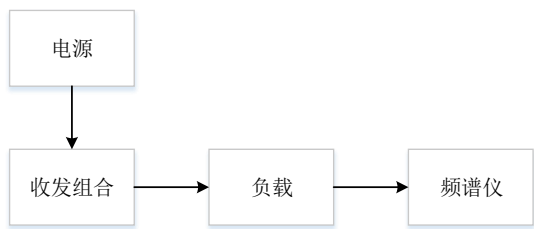
评价步骤: (先用拉距法确认大致距离, 在使用两台遥控器安全验证评估)

- a) 手动操控无人机起飞, 飞至其产品规范要求的实际使用高度(若无指定则按120m真高)悬停;
- b) 在该高度上操控无人机进行平飞、盘旋、爬升、下降等飞行状态切换, 同时操控任务载荷设备进行工作状态切换(数据采集、云台转向、拍照、视频录制等);
- c) 利用机载测量设备实时测量地面站(遥控器)与无人机之间的距离。评价过程中实时监控地面站显示的飞行轨迹、飞行参数和任务载荷信息, 有效作用距离内飞行参数应合理、无卡顿和延时, 任务信息应连续、稳定, 图像信息应无影响飞行和信息读取的噪点、闪烁和延迟等现象;
- d) 出现c)中不正常现象的临界距离判断为系统的最大作用距离;

9.7 工作频段

评价环境及设备: 微波暗室环境下, 固定衰减器、可变衰减器、频谱仪;

评价步骤: 微波暗室内, 按图1连接好设备:

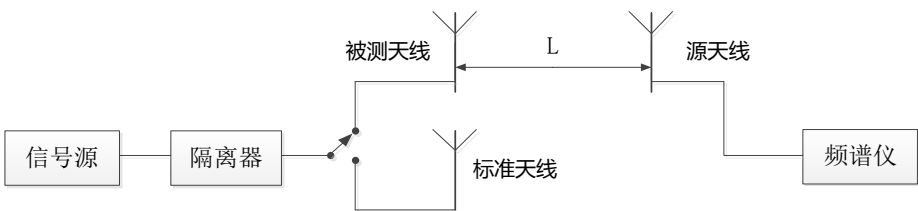


工作频段测试连接图

地面终端和机载终端相隔距离以发射机漏场不影响评估结果为原则；
地面、机载设备加电工作，上行、下行去调制，使用频谱仪分别测出地面、机载收发组合的输出频率。

9.8 等效全向辐射功率

- 评价环境及设备：微波暗室环境，信号源、频谱分析仪；
评价步骤：
- a) 按图 2 所示连接测试系统，加电预热使测试系统仪器设备工作正常；
 - b) 设置信号源的工作频率，信号源发射一连续的单载波信号, 调整源天线极化与待测天线极化匹配，并使源天线瞄准待测天线；
 - c) 通过控制天线波束角度，驱动源天线与被测天线对准，此时仪器接收的信号功率电平最大，记录此时信号源输出功率 P1 和频谱仪测量的信号功率电平为 P0；
 - d) 被测天线的信号传输电缆接到标准天线上，并调整标准天线与源天线对准，且极化匹配，调整信号源输出功率，使频谱仪接收的信号电平为 P0，记录记录此时信号源输出功率 P2；
 - e) 更换测试频率（高、中、低三个频点），重复上 b) ～ d) 测试步骤；
 - f) 更换源天线极化方向，重复 b) ～e) 测试步骤；
 - g) 改变天线摆放的方位角（0°、90°、180°、270°），重新对准天线，重复步骤 b) -f)；



等效全向辐射功率测试连接图

数据处理：
设标准天线增益为G（dBi），标准天线为线性化，EIRP采用如下公式计算：
 $EIRP_x = P2_x - P1_x + G + P0_x - L$
 $EIRP_y = P2_y - P1_y + G + P0_y - L$
 $EIRP = 10 \lg (10^{EIRP_x/10} + 10^{EIRP_y/10})$
其中：Pix、Piy为信号源在两种正交线极化状态下输出信号功率值，P0x、P0y为频谱仪在两种正交线极化状态下接收信号电平值，EIRPx、EIRPy为接收天线在两种正交线极化状态下测量得到的EIRP分量。

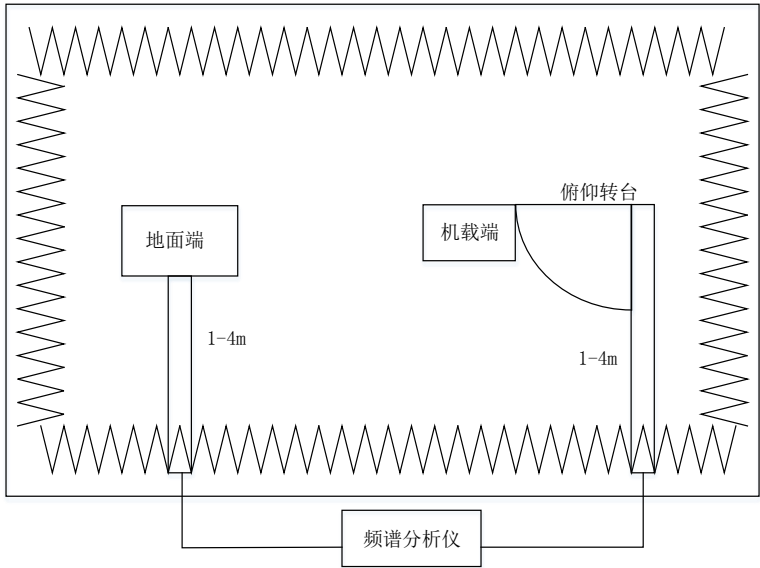
9.9 杂散辐射功率

评价环境及设备：微波暗室环境，信号发生器、频谱分析仪；
评价步骤：

- a) 被测设备工作于正常工作状态，采用附录 E 所描述的试验场地和测试过程；
- b) 按照表 1 所示的各个频段设置频谱分析仪的起始频率和终止频率，频谱分析仪的分辨率带宽设置和视频带宽设置要与表 1 规定的内容相一致；
- c) 将被测设备放置在标准转台或支架上，测量天线需垂直极化正对被测设备，天线高度同被测设备一致；
- d) 频谱分析仪检波方式设置为正峰值检波，在各个测试频段搜索有效杂散频谱分量，并旋转被测设备，使频谱分析仪获得最大电平读数并记录；
- e) 将测量天线设置为水平极化位置，重复上述步骤；

辐射杂散发射测试分辨率带宽/视频带宽设置

频率范围	分辨率带宽	视频带宽
900MHz	100kHz	300kHz
1.4GHz、2.4 GHz、5.8GHz	1MHz	3MHz

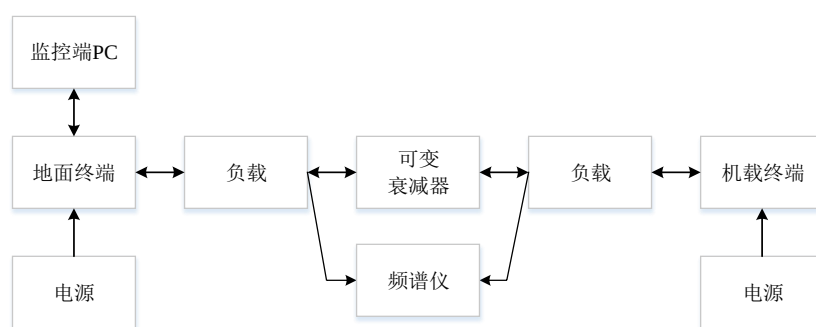


杂散测试连接图

9.10 接收机灵敏度

评价环境及设备：微波暗室环境，功率计、频谱分析仪；
评价步骤：

- a) 在微波暗室内（满足测试的漏场要求），按图 4 连接，地面站和飞机均上电，调节至数据链路工作状态；



灵敏度测试连接图

- 可变衰减器置零，上行去调制，使用频谱仪测出机载端的接收电平（两端负载值已标定）；
- 机载设备加电，上行工作，遥控遥测正常工作，通过地面监控软件观察上行工作状态，然后逐渐增加可变衰减器的衰减值，直至遥控失锁，读出使遥控刚恢复锁定时的衰减值；
- 同样方法测出地面端的接收电平和遥测失锁时的衰减值；
- 频道可切换的机型，改变上行频道，重复以上步骤。
- 按以下公式处理数据：

$$P_r = P_i - A(\text{dB})$$

式中： P_r ：接收灵敏度，单位：dBm； P_i ：接收端输入电平，单位：dBm；A：可变衰减器值。

9.11 天线要求

评价环境及设备：微波暗室环境、三轴转台、频谱分析仪；

评价步骤：

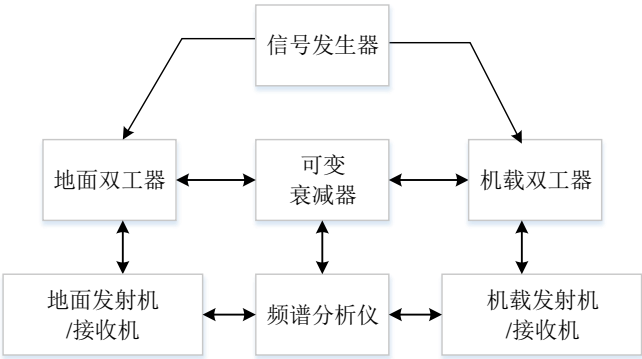
- 按图 4 连接，地面终端和机载终端相隔距离应满足发射机漏场不影响测试结果；
- 地面、机载设备加电工作，上行、下行去调制；
- 调节转台，使得发射天线正对接收天线（即俯仰角度为 0），使用频谱仪分别测出地面、机载收发组合的输出功率和接收功率，应满足 5.3.11 灵敏度的要求；
- 调节转台旋转角度，每间隔 5° 重复测试步骤（3），直至灵敏度不满足要求，测出天线的俯仰角范围。

9.12 邻道选择性

评价环境及设备：微波暗室环境、信号发生器（或无人机信号模拟源）、频谱分析仪；

评价步骤：

- 在微波暗室环境下，按图 5 连接机载接收机和地面遥测设备接收机；
- 开启地面和机载端的测控功能，使用信号发生器（或无人机信号模拟源）在当前工作信道上注入邻道信号，并改变邻道信号强度，观察飞行平台指示功能是否正常；
- 重复以上步骤，注入不同的邻道信号，测试样本不少于 5，测出第一邻道的最小接收功率之差。



邻道性能测试连接图

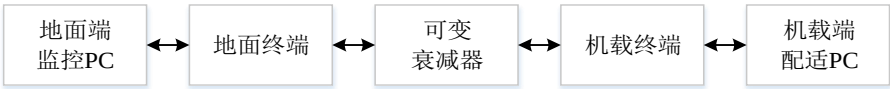
9.13 邻道抑制比

评价环境及设备：微波暗室环境、信号发生器（或无人机信号模拟源）、频谱分析仪；

评价步骤：

在微波暗室环境下，按图6连接机载发射机和地面遥测设备发射机；

- a) 开启地面和机载端的测控功能，使用信号发生器（或无人机信号模拟源）在当前工作信道上注入邻道信号，并改变邻道信号强度，观察飞行平台指示功能是否正常；
- b) 重复以上步骤，注入不同的邻道信号，测试样本不少于 5，测出第一邻道的最小发射功率之差。



传输误码率测试连接图

9.14 传输误码率

评价设备：误码测试仪、可变衰减器；

评价步骤：按图7连接设备，任选其中一个通道频点进行如下测试：

- a) 调节衰减器，使系统达到灵敏度状态；
- b) 使用地面端监控计算机向机载终端发送一组比特数，判断机载端计算机能否准确收到的比特数，统计 105 个比特后回报的误码比特数作为上行遥控误码率；
- c) 使用机载端计算机向地面终端发送一组比特数，判断地面端计算机能否准确收到的比特数，统计 105 个比特后回报的误码比特数作为下行遥测误码率。

9.15 响应时延

评价设备：示波器、时间计数器；

评价步骤：在等效遥控最大作用距离下，用时间计数器测出上行时延和下行时延。

9.16 指令安全性

评价设备：监控计算机；

评价步骤：

当测控站设备去掉相关安全性功能（保密性与认证性）后，机载遥控设备解指令应该失败，当测控站遥控设备恢复相关安全性功能（保密性与认证性）后，机载遥控设备应解指令正常。

10 导航及定位系统评价

10.1 总则

在评价中根据需要使用实际的导航卫星信号或模拟测试信号。模拟器产生的信号必须具有与卫星信号相同的特性，在正常动态星座下，能产生几何位置良好（ $HDOP \leq 4$ 或 $PDOP \leq 6$ ）的卫星信号。

所有测试用仪器、设备应有足够的测量范围、分辨力、准确度和稳定度，其性能应满足被测性能指标的要求；测试所用仪器设备应经过计量部门检定或校准，符合性能指标要求，并在检定或校准有效期内。

静态定位测试场地远离大功率无线电发射源，其距离不小于 200m；远离高压输电线路和微波无线电信号传送通道，其距离不小于 50m；附近不应有强烈反射卫星信号的物体，如大型建筑物、水面等。天线安装高度应高于地面 1 m 以上，从天顶到水平面以上 10° 的仰角空间范围内对卫星的视野清晰。具有位置已知的标准点，位置精度在 X、Y、Z 方向均应优于 0.1 m（ 1σ ）。

10.2 组成

目视检查被测终端的组成部分。检查被测产品提供的产品文档，应带有使用说明书或产品规范，具有详细的操作、接线说明，配套软件、适用的操作系统及使用说明。

10.3 输出

被测终端至少提供一个输出接口，将导航信息从该输出接口提供给其他设备。

根据被测产品的说明书，将被测导航模块的输出接口接入计算机，通过厂家提供的软件或第三方软件读取信息。

10.4 水平定位精度

在实际城市道路场地以测试车作为运动载体对被测设备进行测试。将被测导航终端的天线按使用状态固定在测试车上，按规划的路线跑车，连续记录定位数据，将获取的定位数据与高精度 INS/GNSS 组合导航设备的定位数据进行比较，参照附录 E 计算水平定位精度。

10.5 高程保持精度

在实际城市道路场地以测试车作为运动载体对被测设备进行测试。将被测导航终端的天线按使用状态固定在测试车上，按规划的路线跑车，连续记录定位数据，将获取的定位数据与高精度 INS/GNSS 组合导航设备的定位数据进行比较，参照附录 E 计算高程保持精度。

10.6 首次定位时间

地面控制站为无人机装订飞行任务，无人机在自动轨迹控制状态下巡航，利用经纬仪或测量雷达或其他设备跟踪无人机，并连续测量记录无人机航迹数据，比较经纬仪、测量雷达或仪器测量得到的轨迹和任务规划航线的偏差（无人机位置相对于预定航线的测量偏离），参照附录 E 计算精度。

10.6.1 冷启动首次定位时间

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度不低于 20m/s 的直线运动用户轨迹。

使被测导航模块在下述任一种状态下开机，以获得冷启动状态：

为被测导航模块初始化一个距实际测试位置不少于 1000km 但不超过 10000km 的伪位置，或删除当前历书数据；或 7 天以上不加电。

以 1Hz 的位置更新率连续记录输出的定位数据，找出首次连续 10 次输出三维定位误差不超过 100m 的定位数据的时刻，计算从开机到上述 10 个输出时刻中第 1 个时刻的时间间隔。

10.6.2 热启动首次定位时间

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度不低于 20m/s 的直线运动用户轨迹。

在被测导航模块正常定位状态下，短时断电 60s 后，被测导航模块重新开机，以 1Hz 的位置更新率连续记录输出的定位数据，找出首次连续 10 次输出三维定位误差不超过 100m 的定位数据的时刻，计算从开机到上述 10 个输出时刻中第 1 个时刻的时间间隔。

10.6.3 重捕获时间

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度不低于 20m/s 的直线运动用户轨迹。

在被测导航模块正常定位状态下，短时中断卫星信号 30s 后，恢复卫星信号，以 1Hz 的位置更新率连续记录输出的定位数据，找出自卫星信号恢复后，首次连续 10 次输出三维定位误差不超过 100m 的定位数据的时刻，计算从卫星信号恢复到上述 10 个输出时刻中第 1 个时刻的时间间隔。

10.7 灵敏度

10.7.1 捕获灵敏度

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度不低于 20m/s 的直线运动用户轨迹。每次设置模拟器输出的各颗卫星的每一通道信号电平从导航模块不能捕获信号的状态开始，以 1dB 步进增加，若被测导航模块技术文件声明的捕获灵敏度量值低于 -140dBm 要求的限值，可以从比其声明的灵敏度量值低 2dB 的电平值开始。

在模拟器输出信号的每个电平值下，被测导航模块在冷启动状态下开机，若其能够在 300s 内捕获导航信号，并以 1Hz 的更新率连续 10 次输出三维定位误差小于 100m 的定位数据，记录该电平值。

10.7.2 重捕获灵敏度

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度不低于 20m/s 的直线运动用户轨迹。每次设置模拟器输出的各颗卫星的各通道信号电平从导航模块不能捕获信号的量值开始，以 1dB 步进增加，若被测导航模块技术文件声明的重捕获灵敏度量值低于 -145dBm 要求的限值，可以从比其声明的灵敏度数值低 2dB 的电平值开始。

在模拟器输出信号的每个设置电平值下，被测导航模块正常定位（此时为使导航能够正常定位，可先输出较高的可定位电平）后，控制模拟器中断卫星信号 30s 再恢复到该设置电平值，若导航模块能够在信号恢复后 300s 内捕获导航信号，并以 1Hz 的更新率连续 10 次输出三维定位误差小于 100m 的定位数据，记录该设置电平值。

10.7.3 跟踪灵敏度

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度不低于 20m/s 的直线运动用户轨迹。

在导航模块正常定位的情况下，设置模拟器输出的各颗卫星的各通道信号电平以 1dB 步进降低。在模拟器输出信号的各电平值下，测试导航模块能否在 300s 内连续 10 次输出三维定位误差小于 100m 的定位数据，找出能够使导航模块满足该定位要求的最低电平值。

10.8 动态性能

用 GNSS 模拟器模拟仿真速度不低于 20m/s 的直线运动用户轨迹。

被测导航模块接收射频仿真信号，每秒钟输出一次定位数据，以模拟器仿真的位置作为标准，计算定位精度。

10.9 位置更新率

用模拟器进行测试，设置模拟器仿真速度为 $2.5\text{m/s} \pm 0.5\text{m/s}$ 的直线运动用户轨迹，在 10min 内，每隔 1s 检查导航模块的位置数据输出，观察每次位置数据的更新时刻。

10.10 功耗

通过程控直流稳压电源为被测导航模块供电，在被测导航模块正常定位后，在 10min 内每 5s 记录一次程控直流稳压电源显示的瞬时电压和瞬时电流值，并由二者的乘积计算出各瞬时功率。对各时刻的瞬时功率取平均值得到功耗测量值。

11 无人机系统安全软件通用要求评价方法

无人机通用要求系统级软件测试为基本级测试，主要根据无人机通用性要求，验证系统软件功能、性能、接口等的达标度，是否按照用户规定的需求完成了系统整体设计和软件实现。

11.1 软件版本管理

应记录和标识本次评价环境，包括硬件环境和软件环境，其中硬件环境应标识设备配置及型号等要素，软件环境应标识被测软件版本号以及所需的操作系统、依赖包、驱动等运行环境要素。

11.2 软件功能评价

11.2.1 系统任务流程

通过对地面控制站按照无人机任务流程依次执行软件指令的操控，测试无人机执行拍摄任务在全过程（例如受领任务、任务生成、起飞准备、起飞爬升、飞行任务实施、返航回收）中任务流程、操作易用符合性、数据回显、图像清晰可用等是否满足通用要求。

11.2.2 上电自检

上电自检测试如下步骤进行：

- 设备状态检查：主要测试遥控状态检查、导航状态检查、通信状态检查、电池电压状态检查、气压高度状态检查、磁航向状态检查、伺服状态检查和载荷检查等检测处理的正确性，验证机载载荷设备、传感器设备、导航设备、地面控制设备等均能执行自检操作，并且能在地面操控终端界面中显示状态结果；
- 自检故障测试：主要测试无人机自检状态故障时，能够输出相应故障状态信息等；
- 控遥测检查：测试无人机系统软件上电后对上行飞行遥控数据、下行飞行遥测数据等通路进行检查，若发生长时间未收到数据或数据错误等情况应提示告警信息。

11.2.3 飞行控制管理

飞行控制管理评价如下步骤进行：

- 测试无人机系统软件通过地面控制设备实现无人机飞行控制功能，例如无人机响应地面控制设备发送的起飞指令，无人机检测起飞条件具备，能够正确完成起飞操作；无人机响应地面控制设备发送的降落指令，按照一定速度下降，直至降落等；

- b) 测试无人机系统软件可实现无人机返航，实现无人机在可控或不可控状态下安全返航，例如原路返航、直线返航；
- c) 测试无人机系统软件通过地面控制终端发送无人机速度控制指令进行无人机飞行速度控制，例如纵向飞行速度、侧向飞行速度、垂向飞行速度和转弯速度等控制；
- d) 测试无人机系统软件具有航线规划功能，可在地面控制站显示界面上按照预先规划航点信息进行设置。例如航点属性为起飞点、巡航点、降落点等，具有相应的速度、高度、飞行动作（例如巡航、悬停、盘旋等）等，检查无人机起飞后是否能够按规定航线进行飞行；
- e) 测试无人机系统软件具有航姿控制功能，通过地面控制设备软件控制无人机俯仰角、滚转角、航向角等；
- f) 测试无人机系统软件具有飞行高度控制功能，通过地面控制设备软件控制无人机相对高度等；
- g) 测试无人机系统软件具有自动避开障碍物功能，可通过设置障碍物应用场景，验证系统软件是否发现和自动避开。

11.2.4 综合信息处理及显示

综合信息处理及显示评价按如下步骤进行：

- a) 在地面控制站上测试无人机系统软件是否具备实时显示无人机状态（例如：起飞、巡航、返航等）、无人机飞行速度（如：前飞速度、转向速度、爬升速度等）、无人机飞行高度等信息；
- b) 测试无人机系统软件具备对无人机俯仰、横滚、航向等飞行姿态进行实时监控的功能；
- c) 测试无人机系统软件是否具备实时显示电池余量等工况的功能；
- d) 测试无人机系统地面控制设备具备在地图上标绘无人机位置信息与飞行航迹的功能；
- e) 测试无人机系统具备对无人机的位置（例如高度等）、速度（例如空速等）、电池（剩余电量、续航时间等）、航姿（例如俯仰角、横滚角等）故障等异常情况进行告警的功能，告警信息应使用颜色区别或声音突出显示，并保证不会被其他界面遮挡覆盖；
- f) 测试无人机系统具备对载荷工作状态进行检测的功能；
- g) 测试无人机系统对于遥控指令、无人机执行回报以及测控信号强度须在显示界面有提示；
- h) 测试无人机系统具备对无人机飞行遥测数据、链路状态遥测数据、载荷状态数据、无人机飞行遥控数据等进行记录保存的功能，地面控制设备具有回放模式，可选择回放某时间段无人机遥测数据；
- i) 测试无人机系统是否能够对规划成功的任务规划数据进行保存和显示，验证航线设计功能的正确性，查看在地图界面上是否能正常显示，是否支持对航线进行在线修改，是否具有支持航线数据的存储、加载功能；
- j) 测试无人机系统地面控制站软件能够对软件地图进行操作控制（例如，放大、缩小、漫游等），应支持无人机的目标跟踪功能。

11.2.5 任务规划

任务规划评价按如下步骤进行：

- a) 验证航线绘制功能，在图形界面上按照一定的规则编辑航线点，输入位置点相关经纬度信息，对航线点进行修改、插入、查询和删除等操作，验证是否具备航线点管理功能；
- b) 在图形界面上先后编辑 3 条航线数目，每个航线数目不少于 20 个，测试是否支持相关功能；
- c) 在图形界面上查看是否能够实时显示无人机飞行航迹，飞行航迹包括机头和航迹曲线；
- d) 在图形界面上对图层控制进行操作，测试是否支持地图叠加飞行航迹显示，是否对地图进行漫游、放大、缩小等图层操作。

11.2.6 载荷控制管理

载荷控制管理评价按如下步骤进行：

- a) 测试载荷指令发送处理的正确性，查看载荷控制界面，遥测显示界面能够正确显示载荷拍照、连拍和录像功能；验证载荷扫描、垂直下视、前视功能实现的正确性；
- b) 测试能够对机载任务设备伺服状态进行监视并显示的正确性；
- c) 测试视频图像和照片等遥测数据是否在地面控制站上正常显示；
- d) 验证软件是否支持对遥测数据进行回放功能。

11.2.7 遥控遥测

遥控遥测评价按如下步骤进行：

- a) 在地面控制站界面或手持控制盒依次发送俯仰控制、滚转角控制、偏航控制、高度控制、速度控制、载荷控制等相关指令，测试确认无人机是否正确响应操作指令，查看收到各类遥控指令后产生的飞行控制效果，以及控制效果与界面显示数据的一致性；
- b) 在地面控制站查看实时显示的遥测数据，验证图像格式、分辨率以及遥测数据的有效性。

11.2.8 限定空域和高度飞行控制

限定空域和高度飞行控制按如下步骤进行：

- a) 在地面控制站界面上，划设某一空域为限制空域，要求该空域范围覆盖当前无人机所在区域，测试地面控制站显示界面是否有告警提示，同时测试终端导航控制（起飞等指令）是否为失效状态；
- b) 在地面控制站系统设置界面上，选择某飞行高度限制，设置成功后，控制无人机飞行爬升，验证无人机飞行高度是否被限制。

11.2.9 接口评价

11.2.9.1 互联互通

无人机系统软件互联互通应包括以下评价项目：

- a) 地面控制设备是否具备接口可自动报送飞行计划、飞行动态（高度、速度、当前位置等）的识别信息，验证每个要素信息格式及内容的正确性；
- b) 地面控制设备是否具备接口可自动报送产品、登记、驾驶员等监管信息，验证每个要素信息格式及内容的正确性。

11.2.9.2 内部通信

无人机系统软件内部通信评价应包括以下项目：

a) 功能要求

无人机、地面控制设备、载荷设备等设备之间信息通信传输。

b) 内容

- 1) 无人机软件能够周期性地接收地面控制设备发送的有效数据帧；
- 2) 通过专业测试工具，模拟异常的指令数据，验证无人机系统处理的正确性；
- 3) 无人机软件能够周期性地向地面控制设备发送遥测数据包、任务数据和飞机状态等实时数据。

11.2.10 存储能力

一般终端图像等数据存储能力不小于40min（1h的存储数据链在8Mbps的码率为3.6GB数据量，总共8GB存储容量），其具体数据应跟电池的续航能力相一致。

11.2.11 可靠性

系统软件能够连续工作4小时不出现死机的情况。

11.2.12 人机交互界面评价

11.2.12.1 界面易操作性

无人机系统软件界面易操作性评价应包括以下项目：

- a) 所有软件界面的整体布局是否友好，是否符合人机交互理念；
- b) 所有软件界面菜单及输入是否具有可引导性；
- c) 软件是否支持快捷键，易操作；
- d) 软件对必填输入项是否具有标识提示；
- e) 软件对具有特殊约定的输入是否具有相应提示；
- f) 是否具有导航条或下拉式菜单易于进入操作界面。

11.2.12.2 界面健壮性

软件以非常规操作、误操作、快速操作来检验人机界面的健壮性。

11.2.12.3 界面防错性

无人机系统软件界面防错性评价应包括以下项目：

- a) 软件所有界面对输入数据进行无效输入应具有错误检测与提示的功能；
- b) 软件所有界面对暂不使用的参数设定值应具有提示的功能；
- c) 软件所有界面对告警提示操作的警示应具有不同分类提示，包括颜色、提示框以及声音等；
- d) 无人机系统软件设有关键界面按钮防止误操作的保护功能；
- e) 无人机系统人机交互界面软件具有图形界面的显示内容，当数据超出图形界面显示阈值时，软件应具有应对措施。

11.2.12.4 界面响应时间

无人机系统软件界面响应时间评价应包括以下项目：

- a) 人机交互界面软件的启动时间是否满足要求。若用户需求、软件需求规格说明等文档中未说明，默认界面启动时间小于等于5s；
- b) 测试人机交互界面软件的界面操作反应时间，即点击按钮到操作生效的时间是否满足要求。若需求规格说明等文档中未说明，默认界面操作响应时间小于等于1s；
- c) 测试人机交互界面软件的界面查询时间即点击按钮到查询结果显示在显示器上的时间是否满足要求。若用户需求、需求规格说明等文档中未说明，默认界面查询时间小于等于5s；
- d) 测试人机交互界面软件的统计时间即点击按钮到统计结果显示在显示器上的时间是否满足要求。若用户需求、需求规格说明等文档中未说明，默认软件界面统计时间小于等于5s。

11.3 性能评价

11.3.1 自检时间无人机系统软件飞行控制设备向地面下发遥测数据的周期，满足周期时间要求。

11.3.2 数据存储时间

无人机系统软件在执行飞行任务过程中会保存飞行数据及载荷图像数据，测试数据存储时间是否满足要求；测试内容一般包括：测试无人机系统软件执行一次任务保存数据（飞行遥控数据、飞行遥测数据、载荷图像数据等）时间是否满足要求；照片应能够支持通用格式（如JPG），视频应能够支持通用H.264编码格式，数据存储时间通常为40分钟，可根据用户需求调整测试。

11.4 其他评价项目

除以上无人机系统常测性能指标外，还应结合具体项目要求考虑巡航速度、最小飞行速度、最佳巡航高度、水平加减速性能、跃升性能、俯冲性能、飞行半径、垂直爬升速度、垂直下降速度、姿态保持（悬停）性能、俯仰角保持精度、横滚角保持精度、航向角保持精度、高度保持精度、定位精度、航迹控制精度等。实际评价不完全局限于以上性能测试内容，可根据项目具体情况进行增加或删减。

11.5 余量评价

11.5.1 RAM 余量

评价无人机系统中各个软件RAM余量是否满足要求，评价内容一般包括：计算.map文件中已使用的RAM空间大小，与总的RAM空间进行比较，计算RAM余量，以保证软件RAM空间留有特定要求的余量，如项目无特定要求，则至少留有20%的余量。

11.5.2 FLASH 余量

评价无人机系统中各个软件FLASH余量是否满足要求，评价内容一般包括：计算烧录文件大小，与总的FLASH空间大小进行比较，计算FLASH余量，以保证软件FLASH空间留有特定要求的余量，如项目无特定要求，则至少留有20%的余量。

11.6 监视管理评价

检查无人机系统具备接口互通能力，应能按照相应国家标准报送飞行计划、飞行动态（速度、高度、位置）等识别信息以及产品、登记、驾驶员等监管信息，便于军民航空管理部门实施管控。

12 续航能力评价方法

12.1 续航能力通用要求

12.1.1 剩余电量提示

通过结合任意悬停或工况试验进行评价。

12.1.2 低电量试验

按照制造商推荐的方法充电，记录起飞时间，在适当时刻开启卫星导航定位系统和高度保持等与飞行和作业任务相关的功能，按照预先设计的航线飞行直至强制返航降落。

12.2 工况续航能力评价

产品的续航能力飞行试验应根据无人机设计作业任务特点和具体行业应用场景选取试验项目。

12.2.1 室内空载悬停评价

按照制造商推荐的方法或者GB/T 31467.1-2015 6.2.1b)方法充电,记录起飞时间,开启GPS定位、高度保持以及数据传输等与飞行相关的功能,起飞后在3-5米高度悬停,当达到试验截止电压或使用手册的降落条件时降落,记录降落的时间。再重复2次,取3次测试结果的平均值

12.2.2 室内额定载荷悬停评价

将任务载荷或模拟载荷牢固的安装在待检测设备无人机上,如使用模拟载荷,模拟载荷质心应与真实载荷重合。

按照室内空载悬停试验步骤进行试验,取3次测试结果的平均值。

12.2.3 室外场地空载续航能力评价

按照制造商推荐的方法或者GB/T 31467.1-2015 6.2.1b)方法充电,记录起飞时间,开启GPS定位、高度保持以及数据传输等与飞行和作业任务相关的功能,按照预先设计的航线飞行直至强制返航降落,最后记录降落时间并计算续航里程。再重复2次,取3次测试结果的平均值。

12.2.4 室外场地额定载荷续航评价

将制造商声明的最大质量的载荷或模拟载荷牢固的安装在待检测设备无人机上,如使用模拟载荷,模拟载荷质心应与真实载荷重合,与飞行和作业任务相关的功能应该开启。

其余按照室外场地空载续航试验步骤进行试验。取3次测试结果的平均值。

12.2.5 室外场地工况续航能力评价

无人机应该根据制造商声明的用途对应相应的工况进行评价。

如果制造商声明或使用手册中声明了无人机的用途只用于植保作业,应根据技术参数选择工况3A或工况3B或等价工况进行试验,否则应该进行工况2和工况3的评价。在进行工况2和工况3的评价前,应将药箱注入额定容量的清水,试验时应启动喷洒功能。

如果制造商声明或使用手册中声明了无人机的最大航时超过35min,则应该按附录D长航时工况进行试验。

工况续航试验中,与飞行和作业任务的相关的功能应该开启。

一般低空工况按附录A进行试验。

一般中低空工况按附录B进行试验。

植保机工况按附录C进行试验。

最大航时超过35分钟的无人机应按附录D长航时工况进行试验,设计有可拆卸载荷的应该将空载和带最大额定载荷的状态都应进行评价。

13 环境适应性评价方法

13.1 高温存储

高温存储温度+60℃、存储时间48h,或按制造商声明的存储温度和存储时间,其它条件依据GJB 150.3A-2009。

13.2 高温工作

高温工作温度+50℃,工作时间2h,或按制造商声明的工作温度和工作时间。其它条件依据GJB 150.3A-2009。

13.3 低温存储

低温存储温度 -40°C ，存储时间4h，或按制造商声明的存储温度和存储时间，其它条件依据GJB 150. 4A-2009。

13.4 低温工作

低温工作温度 -40°C ，工作时间2h，或按制造商声明的工作温度和工作时间，其它条件依据GJB 150. 4A-2009。

13.5 温度冲击试验

依据GJB 150. 5A-2009程序 I -恒定极值温度冲击进行试验，最低温度 -10°C 、最高温度 $+30^{\circ}\text{C}$ （或按制造商声明的最低温度、最高温度），暴露时间2h，转换时间不大于1min，循环3次。

13.6 湿热试验

依据GJB 150. 5A-2009开展试验试验，循环5次。

13.7 盐雾试验

依据GJB 150. 11A-2009开展盐雾试验，试验时间96h。

13.8 低气压试验

依据GJB 150. 2A-2009程序 I -贮存/空运、程序 II -工作/机外挂飞开展试验，其中固定翼无人机最大飞行压强为79. 5kPa，单轴旋翼无人机压强为92. 1kPa，多轴无人机压强95. 5kPa。

13.9 砂尘试验

依据GJB 150. 12A-2009程序 I -吹尘开展砂尘试验。

13.10 淋雨试验

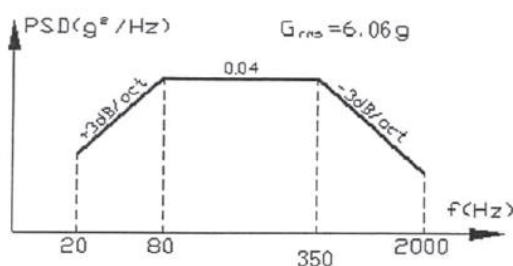
依据GJB 150. 8A-2009程序 I -降雨与吹雨开展淋雨试验。

13.11 冲击试验

加速度幅值30g，半正弦波，冲击持续时间11ms，每个方向各3次，期间无人机处于非工作状态，其它条件依据GJB 150. 18A-2009。

13.12 振动试验

依据GJB 150. 18A-2009开展振动试验，每轴向试验时间5min，振动功率谱型和加速度谱均方根值见图2。



随机振动试验条件

14 电磁兼容性评价

14.1 试验要求

开展电磁兼容性试验应满足以下试验要求：

- a) 对于发射试验，受试产品应在产生最大发射工作状态下进行测量，应在典型使用和实际安装条件下，改变受试产品的配置以获得最大发射。
- b) 对于抗扰度试验，受试产品应在符合正常使用的最敏感的工作方式下进行试验，应变动受试设备的布置以获得与典型使用和实际装置一致的最大敏感度。
- c) 如果产品需要连接辅助设备，那么产品在进行试验时应连接数量最少且有代表性的辅助设备，以便按相关的规定来使用端口。
- d) 如果制造商的技术规范特别要求外部保护装置或措施，并已在用户使用手册中明确作出规定，则应在具有外部保护装置或措施的情况下进行试验。
- e) 试验期间的布置和工况都应准确地记录在试验报告中。对产品的每一项功能未必都能进行试验，在这种情况下，要选择最关键的工况来试验。
- f) 如果产品有许多类似的端口，或许多端口有类似的连接，那么应选择足够数量的端口来模拟实际工作状态，以保证涉及所有不同类型的终端。
- g) 应在产品规定的温度、湿度和气压范围内，以额定电源电压进行试验，除非基础标准另有规定。

14.2 辐射骚扰场强试验

14.2.1 评价条件

试验适用于无人机系统。评价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 6dB 带宽；峰值测量接收机应符合 GB/T 6113.101 规定的要求，并具有 6dB 带宽；
- c) 测试频段：30 MHz–6000 MHz，最高测试频率要求见表 2–辐射发射限值；
- d) 测试距离：3 m 或 10 m，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）。
- e) 试验场地应符合 GB/T 6113.101 的要求。

14.2.2 评价步骤

试验方法按照 GB/T 6113.203 相关条款进行。具体步骤如下：

- a) 将挂载了任务设备的飞行器通过绝缘支架固定于 80cm 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；
- 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飞行器处于典型飞行状态，同时控制飞行器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。

14.3 传导发射评价

14.3.1 评价条件

试验仅适用于无人机地面控制单元。评价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；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 ）；
- c) 测试频段：150 kHz–30 MHz；
- d) 试验场所应符合 GB/T 6113.101 的要求。

14.3.2 评价步骤

评价按照GB/T 6113.201相关条款进行，具体步骤如下：

- a) 将地面控制单元按照 GB/T 6113.201 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) 调试飞行器处于典型飞行状态，同时控制飞行器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进行试验；
- e) 记录试验结果。

对于根据产品使用说明书，不建议插电操作的便携式地面控制单元(如遥控手柄等)，则可仅在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）的输入电源端口进行。

14.4 工频磁场抗扰度

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) 将无人机系统置于感应线圈中；
- 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 1min。试验期间观察并记录无人机各项功能和性能变化情况；
- d) 将感应线圈旋转 90°，重复步骤 c)，直至在三个互相垂直的磁场中进行了试验；
- e) 将飞行器放在感应线圈外，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。

14.5 辐射抗扰度

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飞行器通过绝缘支架固定于 80cm 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；
- 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飞行器处于典型飞行状态，同时控制飞行器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。

14.6 静电放电抗扰度

试验按照GB/T 17626.2相关条款进行布置。具体试验步骤如下：

- 将0.8 m高的木质试验台放置在与试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；
- 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；
- 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；
- 将地面控制单元同时布置于试验台上；
- 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；
- 无人机系统通电，完成自检，处于待机状态；
- 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；
- 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；
- 记录试验结果。

14.7 传导抗扰度

试验按照GB/T 17626.6相关条款进行，具体步骤如下：

- 将地面控制单元按照GB/T 17626.6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；
- 调试飞行器处于典型飞行状态，同时控制飞行器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，观察并记录无人机系统各项功能和性能变化情况；
- 记录试验结果。

对于根据产品使用说明书，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。

14.8 电快速瞬变脉冲群抗扰度

试验按照GB/T 17626.4相关条款进行，具体步骤如下：

- 将地面控制单元按照GB/T 17626.4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；
- 调试飞行器处于典型飞行状态，同时控制飞行器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，观察并记录无人机系统各项功能和性能变化情况；
- 记录试验结果。

对于根据产品使用说明书，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。

14.9 浪涌（冲击）抗扰度

试验按照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) 调试飞行器处于典型飞行状态，同时控制飞行器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。

对于根据产品使用说明书，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。

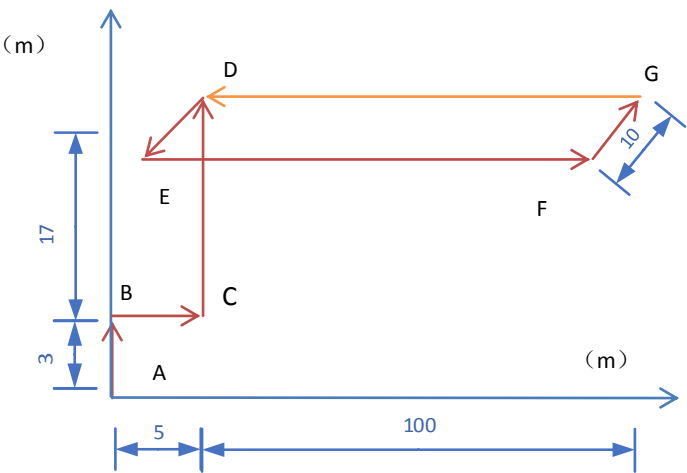
14.10 电压暂降和短时中断抗扰度

试验按照GB/T 17626.11相关条款进行，具体步骤如下：

- a) 将地面控制单元按照 GB/T 17626.11 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) 调试飞行器处于典型飞行状态，同时控制飞行器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。

对于根据产品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)
工况一： 一般低空工况示意图

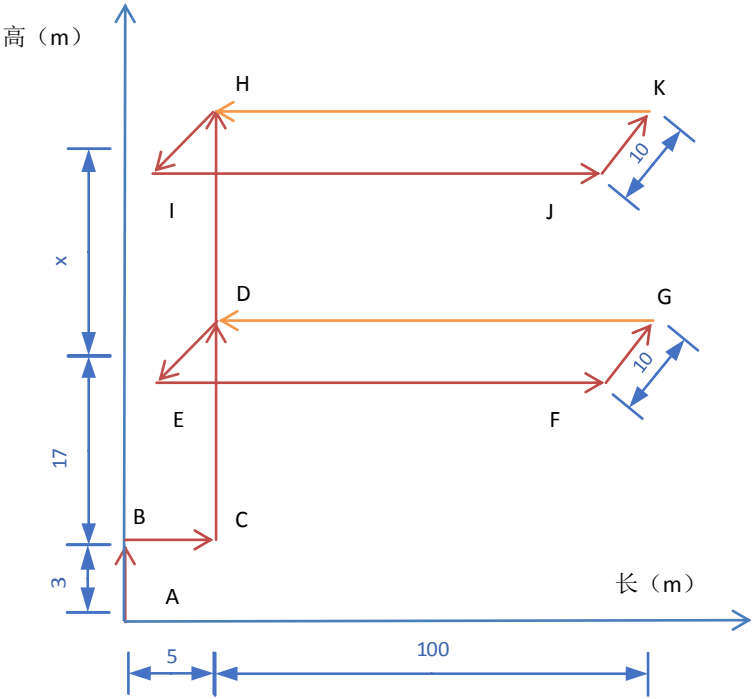


图A. 1

工况 1				
	动作	持续时间	总时间	点
1	开机并静置	60s	60	A
2	垂直起飞	3s	63	
3	定高 3 米悬停	30s	93	B
4	向前飞行 3 米	3s	96	C
5	向上飞行 17 米	17s	113s	D
6	向右飞 10 米	5S	118s	E
7	向前飞行 100 米	20s	138s	F
8	悬停	60S	198s	F
9	向左飞 10 米	5s	208s	G
10	向回飞行 100 米	20s	228s	D
11	悬停	60s	288s	D
12	重复 6-12 5 次以上	170s5+~	1138+~	
13	低电量返航	50s	~	B
14	降落			
备注				

表A. 1

附 录 B
(规范性附录)
工况二：一般中低空工况示意图



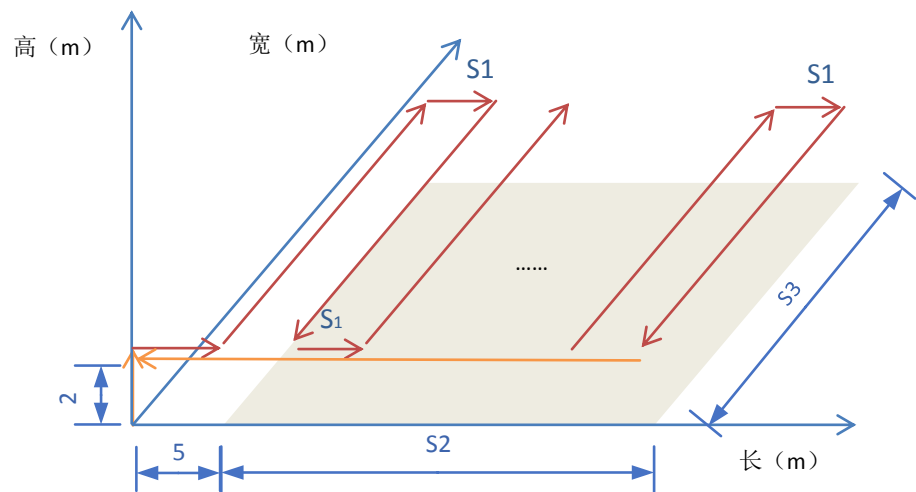
图B. 1

表B. 1

工况 2				
	动作	持续时间	总时间	点
1	开机并静置	60s	60	A
2	垂直起飞	3s	63	
3	定高 3 米悬停	30s	93	B
4	向前飞行 3 米	3s	96	C
5	向上飞行 17 米	17s	113s	D
6	向右飞 10 米	10S	123s	E
7	向前飞行 100 米	20s	143s	F
8	悬停	30S	173s	F
9	向左飞 10 米	10s	183s	G
10	向回飞行 100 米	20s	203s	D
11	悬停	30s	233s	D
12	上升 x 米(默认 30 米)	20s	253s	H
13	向右飞 10 米	10S	263s	I

14	向前飞行 100 米	30s	293s	J
15	悬停	20S	313s	J
16	向左飞 10 米	10s	323s	K
17	向回飞行 100 米	30s	353s	H
18	悬停	20s	373s	H
19	下降 x 米(默认 30 米)	20s	393	D
20	重复 6-19 3 次		~	
20	返航或低电量返航	~	~	B
备注	一般中低空工况 x=30 米;			

附 录 C
(规范性附录)
工况三：一般植保工况示意图



图C. 1

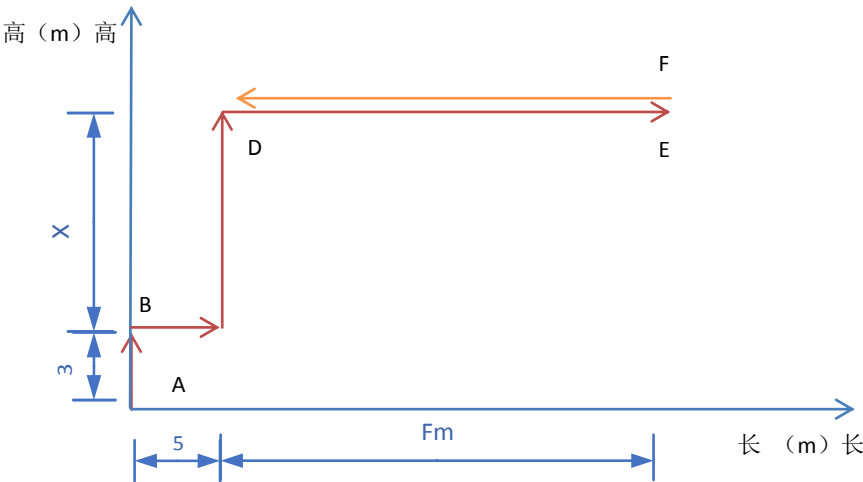
表C. 1

工况三 A					
	动作	持续时间	总时间 ±10s	点	速度
1	开机并静置	60s	60		
2	垂直起飞	3s	63		
3	定高 2 米悬停	10s	73		
4	向前飞行 5 米	3s	76		
6	开启施药	0	76		
7	向左飞行 S3 米	25s	101		1m/s
8	前进 S1 米	2S	103		
9	向右飞行 S3 米	25s	128		
10	前进 S1 米	2S	130		
11	重复 5-8 7 次以上	378s~	508s~		
12	低电量返航或施药完毕返航	10s	~		
13	降落或悬停至低电压自动降落	4s	~		
备注	S3=25m;S2=2m				

工况三 B					
	动作	持续时间	总时间	点	速度

1	开机并静置	60s	60		
2	垂直起飞	3s	63		
3	定高 2 米悬停	10s	73		
4	向前飞行 5 米	3s	76		
6	施药	0			
7	向左飞行 S3 米	25s	101		2m/s
8	前进 S1 米	2S	103		
9	向右飞行 S3 米	25s	128		
10	前进 S1 米	2S	130		
11	重复 5-8 7 次以上	378s	508s~		
12	低电量返航或施药完毕返航	10s	~		
13	降落或悬停至低电压自动降落	4s	~		
备注	S3=50m;S2=2m 工况 1A 和工况 1B 的区别是速度和模拟施药面积不同。				

附 录 D
(规范性附录)
工况四：一般长航时工况示意图



工况四				
	动作	持续时间	总时间	点
1	开机并静置	60s	60	A
2	垂直起飞	3s	63	
3	定高 3 米悬停	30s	93	B
4	向前飞行 3 米	3s	96	C
5	向上飞行 3+X 米	30s	126s	D
6	向前飞行 Fm 米	20s	138s	E
7	向回飞行 Fm 米	20s	228s	D
8	重复 6-8			
9	低电量返航	~s	~	B
10	降落			
备注	X 取真高 47 米，或轻型及以下级别无人机制造商推荐的飞行高度。 折返点取 2 倍 Fm 距离。			

附 录 E
(资料性附录)
定位精度的数据处理方法

A.1 概述

静态定位精度和动态定位精度测试，可以按本附录给出的方法进行数据处理。

A.2 基于统计分布假设的数据处理方法

数据处理步骤如下：

- a) 在得到的全部实时定位数据中剔除平面精度因子 HDOP>4 或位置精度因子 PDOP>6 的测量数据。
- b) 在下述处理过程中，应选用适当的统计判断准则（如 3 σ 准则）剔除粗大误差数据。
- c) 将导航模块输出的大地坐标系（BLH）定位数据转换为站心坐标系（ENU）定位数据。
- d) 按公式（A.1）～公式（A.3）计算各历元输出的定位数据在站心坐标系下各方向（ENU 方向，即东北天方向）的定位误差：

$$\Delta E_i = E_i - E_0 \quad \text{..... (A.1)}$$

$$\Delta N_i = N_i - N_0 \quad \text{..... (A.2)}$$

$$\Delta U_i = U_i - U_0 \quad \text{..... (A.3)}$$

式中：

ΔE_i 、 ΔN_i 、 ΔU_i 、 ΔH_i ——第 i 次实时定位数据的 E 、 N 、 U 方向和水平方向的定位误差

（ $i = 1, 2 \sim n$ ），单位为米（m）；

E_i 、 N_i 、 U_i ——第 i 次实时定位数据的 E 、 N 、 U 方向分量，单位为米（m）；

E_{0i} 、 N_{0i} 、 U_{0i} ——第 i 次实时定位的标准点坐标 E 、 N 、 U 方向分量，单位为米（m）。

- e) 按公式（A.4）～公式（A.7）计算站心坐标系下各方向的定位偏差（bias）：

$$\bar{\Delta E} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E_i}{n} \quad \text{..... (A.4)}$$

$$\bar{\Delta N} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta N_i}{n} \quad \text{..... (A.5)}$$

$$\bar{\Delta U} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta U_i}{n} \quad \text{..... (A.6)}$$

$$\bar{\Delta}_H = \sqrt{\bar{\Delta}_N^2 + \bar{\Delta}_E^2} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

$\bar{\Delta}_E$ 、 $\bar{\Delta}_N$ 、 $\bar{\Delta}_U$ ——定位偏差的 E 、 N 、 U 方向分量, 单位为米 (m);

$\bar{\Delta}_H$ ——水平定位距离偏差, 单位为米 (m)。

f) 按公式 (A.8) ~ 公式 (A.11) 计算定位误差的标准差(standard deviation):

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_{E_i} - \bar{\Delta}_E)^2} \dots\dots\dots (A.8)$$

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_{N_i} - \bar{\Delta}_N)^2} \dots\dots\dots (A.9)$$

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_{U_i} - \bar{\Delta}_U)^2} \dots\dots\dots (A.10)$$

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_E^2} \dots\dots\dots (A.11)$$

式中:

σ_E 、 σ_N 、 σ_U ——定位误差的标准差在 E 、 N 、 U 方向的分量, 单位为米 (m);

σ_H ——定位误差的标准差在水平方向的分量, 单位为米 (m)。

g) 计算置信概率为 95% 的定位精密度 (precision):

对于水平方向, 在各轴向随机误差接近正态分布、且误差椭圆轴比约为 1 的假设下, 可取置信因子 $k = 2$ (~~$k=2.45$~~ $\sqrt{2.45}$ 的安全近似值, $k = 2$ 时水平误差落在半径为 $2\sigma_H$ 的圆内的概率在 95.4%~98.2% 之间, 具体值取决于误差椭圆的轴比, $2\sigma_H$ 值通常作为水平误差大小的 95% 界限^[5]), 按公式 (A.12) 计算:

$$U_H = k \sigma_H \dots\dots\dots (A.11)$$

对于垂直方向, 取置信因子 $k = 2$ (~~$k=1.96$~~ 的安全近似值), 按公式 (A.13) 计算:

$$U_U = k \sigma_U \dots\dots\dots (A.13)$$

式中:

U_H ——置信概率 95% 的水平定位精密度, 单位为米 (m);

U_U ——置信概率 95% 的垂直定位精密度, 单位为米 (m)。

h) 分别报告偏差 (bias) 和精密度 (precision):

NEU 三个方向的定位偏差: ($\bar{\Delta}_N$ 、 $\bar{\Delta}_E$ 、 $\bar{\Delta}_U$)。

水平定位精密度： $\sqrt{2} \sigma_H$ 。

垂直定位精密度： $\sqrt{2} \sigma_U$ 。

i) 计算定位精度 (accuracy):

水平定位精度按公式 (A.14) 计算:

$$M_H = \sqrt{\Delta_H^2 + U_H^2} \dots\dots\dots (A.14)$$

垂直定位精度按公式 (A.15) 计算:

$$M_U = \sqrt{\Delta_U^2 + U_U^2} \dots\dots\dots (A.15)$$

附录 F

（规范性附录）

软件安全可选项目

F.1 附加类型软件测评

无人机系统附件类型软件测评是根据无人机产品应用领域（军贸、）、运行环境特殊性以及产品厂商的需要，在通用要求基本测试后，对软件展开附加类型相关测评，更深入促进和保证无人机系统软件质量。

若系统只配置地面手持终端（无交互界面），则需要对代码进行静态测试。

其内容主要包括静态测试和动态测试，确保软件高可用性和高可靠性。

静态测试内容主要包括静态分析、代码审查；需要甲方提供程序源代码，考虑用户知识产权的保护，可将代码审查工具部署在甲方环境实施。

动态测试内容主要包括边界测试、安全性测试、强度测试、余量测试、恢复性测试等。

F.1.1 静态分析

对用户提供的源代码进行静态分析，对软件源程序开展控制流分析、数据流分析、静态分析，发现程序中存在的编码准则违背之处、数组越界、内存泄漏、变量使用之前未初始化、指针引用错误等。

F.1.2 代码审查

依据软件研制任务书或软件需求、软件设计等相关文档，对软件源代码开展代码审查和走查工作，审查被测代码与设计的一致性、代码逻辑表达的正确性、代码可靠性、安全性设计准则遵循性、代码实现和结构的合理性、代码的规范性、可读性等内容，识别软件代码风险，发现源程序中存在的程序与设计不一致之处、程序逻辑错误、程序功能实现错误等深层次设计上的问题。

F.1.3 边界评价

F.1.3.1 遥控数据边界

测试无人机对地面控制设备发送的遥控数据进行异常判断，超出边界范围的数据能够进行处理。测试内容一般包括：

- 测试无人机能够正常判断地面控制设备发送的遥控数据中飞机机组编号的边界值；
- 测试无人机能够正常判断地面控制设备发送的遥控数据中速度、高度、风速、盘旋半径、盘旋圈数等最大最小边界值；
- 测试无人机能够正常判断地面控制设备发送的遥控数据中滚转量、俯仰量和偏航量等边界值。

F.1.3.2 报警边界

测试无人机系统软件对界面上的显示数据进行异常判断，超出边界范围的数据进行报警提示。测试

内容一般包括：

测试地面控制设备上显示的图文结合工况在上下限报警边界、图形显示最小/大阈值边界显示，包括速度、高度、温度、角度等数据信息。

F.1.3.3 航线规划边界

测试无人机系统软件对航线规划中航线和航点数进行异常判断，超出边界范围的数据进行报警提示。

测试内容一般包括：

测试无人机系统软件航线规划功能中规划飞行航线和航点的最大、最小边界。

F.1.4 安全性评价

F.1.4.1 故障处理

测试无人机系统软件故障处理能力是否满足要求。通常情况下，无人机系统软件能够识别来自各传感器故障的正确性和合法性，避免因响应非法输入导致软件运行故障，当故障发生时，能够做出有效处理。测试内容一般包括：

测试无人机系统软件能够检测到电源管理器故障超过一定时间后做出正确响应。

F.1.4.2 自毁（可裁选）

测试无人机系统软件是否具有自毁的功能，通常自毁功能指擦除芯片或计算机中重要的数据。测试内容一般包括：

- a) 测试无人机系统软件能够接收地面控制设备发送的自毁指令擦除卫星导航接收机中的内部数据；
- b) 测试无人机系统软件能够接收地面控制设备发送的自毁指令擦除载荷设备的内部存储数据；
- c) 测试无人机系统软件能够接收地面控制设备发送的自毁指令擦除飞行控制计算机的飞行数据。

F.1.4.3 断电测试

测试无人机系统软件内部是否有断电保护功能。测试内容一般包括：

- a) 测试无人机系统软件断电时能否将重要数据保存到 FLASH 或存储卡中；
- b) 测试无人机系统软件重新加电后是否能正常加载已保存的数据，并进行验证。

F.1.4.4 链路失效管理

测试无人机系统软件链路失效管理能力是否满足要求。通常情况下，无人机系统软件能够识别链路通信故障的正确性和合法性，避免因响应非法输入导致软件运行故障，当故障发生时，能够做出有效处理。测试内容一般包括：

- a) 测试无人机系统软件能够检测到遥控失灵故障超过一定时间后做出正确响应；
- b) 测试无人机系统软件能够检测到遥控遥测链路故障超过一定时间后做出正确响应，无人机能够正常返航；

F.1.4.5 导航失效管理

测试无人机系统软件导航失效管理能力是否满足要求。通常情况下，无人机系统软件能够识别导航系统故障的正确性和合法性，避免因响应非法输入导致软件运行故障，当故障发生时，能够做出有效处理。测试内容一般包括：

- a) 测试无人机系统软件能够检测到磁航向数据故障超过一定时间后做出正确响应；
- b) 测试无人机系统软件能够检测到卫星导航数据故障超过一定时间后做出正确响应；
- c) 测试无人机系统软件能够检测到导航失效故障超过一定时间后做出正确响应。

F.1.4.6 飞行姿态失效管理

测试无人机系统软件飞行姿态失效管理能力是否满足要求。通常情况下，无人机系统软件能够识别飞行姿态故障，避免因响应非法输入导致软件运行故障，当故障发生时，能够做出有效处理。测试内容一般包括：

- a) 测试无人机系统软件能够检测到高度超限故障超过一定时间后做出正确响应；
- b) 测试无人机系统软件能够检测到姿态角超限故障超过一定时间后做出正确响应；
- c) 测试无人机系统软件能够检测到偏航角超限故障超过一定时间后做出正确响应；
- d) 测试无人机系统软件能够检测到气压高度故障超过一定时间后做出正确响应；

F.1.4.7 复位措施

测试无人机系统软件的复位措施是否正确。复位措施包括：例如软件一段时间非定位后软件复位、通过外界指令控制软件复位、通过看门狗复位等措施。测试软件复位重启后能否正常工作。

无特定要求时，看门狗复位测试归在安全性测试类型中。

根据不同的测评要求，复位措施也可放在恢复性测试或其它测试类型中。

F.1.5 恢复性测试

恢复性测试的具体要求如下：

- a) 应对无人机系统软件出现故障后通过容错措施恢复正常工作的能力进行测试；
- b) 对无人机系统软件失效后通过自复位或备机切换措施恢复继续工作的能力的测试；（可裁剪）
- c) 对无人机系统失效后重新运行时软件依据记录数据恢复续接式作业工作的能力的测试；
- d) 恢复性测试可结合其它测试类型一起进行，如安全性测试、功能测试、性能测试等。

F.1.6 强度测试

F.1.6.1 拷机测试

测试无人机系统软件长时间运行的能力，主要测试软件是否能够满足在最大飞行时间要求下持续正常运行。测试内容一般包括：测试软件各种飞行模式下，对外接口以最大负荷工作，连续及间断拷机特定时间（按照项目要求确定）。

F.1.6.2 频繁响应指令测试

测试无人机系统软件在接收数据频率强于正常工作频率情况下的处理能力，测试内容一般包括：

测试无人机系统软件各外部接口接收数据频率高于正常工作频率 2 倍及以上，软件可正常处理数据，

不引起系统故障等。

参 考 文 献

- GB 4943.1 信息技术设备安全第1部分：通用要求
- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 2829 周期检查计数抽样程序及表（适用于生产过程稳定性的检查）
- GB/T 19596 电动汽车术语
- GB/T 31485-2015 电动汽车用动力蓄电池安全要求及试验方法
- GB/T 31484-2015 电动汽车用动力蓄电池循环寿命要求及试验方法
- GB/T 31467.1-2015 电动汽车用锂离子动力蓄电池包和系统 第一部分：高功率应用测试规程
- GB/T 9254 信息技术设备的无线电设备的骚扰限值和测量方法
- 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 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 2423.3 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验
- GB/T 2423.10 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动(正弦)
- GB/T 2423.8 电工电子产品环境试验第2部分：试验方法 试验Ed：自由跌落
- GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
- GJB 4108-2000 军用小型无人机系统部队试验规程
- GJB 5433-2005 无人机系统通用要求
- GJB 6703-2009 无人机测控系统通用要求
- GJB 150.1A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第1部分：通用要求
- GJB 150.2A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第2部分：低气压（高度）试验
- GJB 150.5A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第5部分：温度冲击试验
- GJB 150.8A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第8部分：淋雨试验
- GJB 150.9A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第9部分：湿热试验
- GJB 150.11A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第11部分：盐雾试验
- GJB 150.12A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第12部分：砂尘试验
- GJB 150.16A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第16部分：振动试验
- GJB 150.18A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第18部分：冲击试验
- GJB 6760-2009 无人机北斗定位导航系统定型试验规程
- GJB/Z 141-2004 军用软件测试指南
- BD110001-2015 北斗卫星导航术语
- BD420005-2015 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）导航单元性能要求及测试方法
- BD420010-2015 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）导航设备通用规范
- QJ 3027A-2016 航天型号软件测试规范
- CQC1620-2018 无人机续航能力技术评价方法