

某型号无人机环境试验技术策划

魏英魁, 胡彦平, 宫晓春

(北京强度环境研究所, 北京 100076)

摘要: 根据某型无人机结构特性与使用环境, 对其气候环境与力学环境试验进行技术策划, 确定其环境试验内容、试验条件与方法。采用经验总结与气候、力学环境载荷分析的方法, 分析环境因素对无人机工作可靠性的影响和该型无人机飞行环境, 总结工作使用状态下的环境载荷, 并确定其气候与环境试验内容、条件与方法。总结确定了该型无人机的主要环境载荷, 确定了该型无人机环境试验项目与试验条件, 并最终进行了环境可靠性试验实施。

关键词: 无人机; 环境试验; 技术策划

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2019.07.007

中图分类号: V216

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2019)07-0032-03

Environmental Test Technology Scheme for a Certain Type of UAV

WEI Ying-kui, HU Yan-ping, GONG Xiao-chun

(Beijing Institute of Structure and Environment Engineering, Beijing 100076, China)

ABSTRACT: The paper aims to technologically plan the climate environment and mechanical environment tests and determine the contents and methods of environmental test according to the structure characteristics and operating environment of an UAV. In this paper, the influence of environmental factors on the working reliability of the UAV was analyzed by means of experience summary and analysis of environmental loads of climate and mechanics. The flight environment of the UAV was analyzed. The environmental loads under working conditions were summarized, and the contents, conditions and methods of the climatic and environmental tests were finally determined. The main environmental loads of the UAV were summarized and determined. The environmental test items and test conditions of the UAV were determined. Finally, the environmental reliability test was carried out.

KEY WORDS: UAV (unmanned aerial vehicle); environmental test; technical planning

某型无人机是全新研制、中高空飞行、主要执行战场侦察任务的飞行器。根据该型无人机工作使用环境特点, 总结分析其工作期间遭受的环境载荷的来源与特点, 同时对无人机结构动力特性进行了分析, 并最终确定该型无人机的环境试验条件与考核方案。

维护方便。其搭载自主研发的飞行控制系统, 实现了飞机从起飞、悬停、航路点飞行到降落所有飞行状态的全自主化, 并具有链路失效保护和自动返航功能。无人直升机采用电控-分控式旋翼控制技术, 减少了结构复杂性, 降低了整体质量, 提高了系统可靠性。

1 某型无人机简介

某型无人机是一新型侦察型飞行器, 该型无人机采用共轴双旋翼技术^[1-3]、模块化设计、结构紧凑、

2 环境因素对无人机可靠性影响

无人机作为一种精密化和集成度很高的飞行器, 其结构和电子器件对环境因素的敏感性较高, 表1分

析了不同环境因素对无人机结构件和飞行可靠性的影响^[4-6]。从表 1 可以看出，影响无人机飞行可靠性的环境因素较多，振动力学环境对无人机结构和飞行可靠性影响较大。

表 1 不同环境因素对无人机可靠性影响

环境因素	对无人机结构件影响	对无人机飞行可靠性的潜在影响
高温	固定电阻的阻值发生变化；润滑剂黏度变低，润滑剂外流造成连接处润滑剂减少；不同材料膨胀不一致可能会导致零部件相互咬死；轴承和轴发生变形、咬合和失效，引起机械故障或者完整性损坏；材料表面起泡、膨胀、卷曲；增加绝缘体的导电性	飞行前检测无法通过，无人机任务设备部分功能失效，严重时会出现飞行控制失效甚至无人机坠毁
低温	在对温度瞬变的响应中，不同材料产生不同程度的收缩，以及不同零部件的膨胀率不同，引起零部件相互咬死；由于黏度增加，润滑油的润滑作用和流动性降低；电子器件性能改变；湿气会冷凝和结冰；失去机械强度	空速等飞控参数测试异常，降低无人机飞行可靠性
湿度	导致表面氧化、腐蚀；凝露和游离水导致电气短路；材料特性发生变化	无人机可靠性降低
低气压 (高度)	密封容器因压差造成变形、破损或破裂；密封垫密封的壳体漏气、漏液体；热传导降低引起过热；绝缘击穿和飞弧；电晕和形成臭氧	无人机可靠性降低
振动	惯性测量单元，这些感知的数据如果因为振动受影响，最终的结果就是飞行器可能会“炸机”，完全不受控制；其次，该型无人机内部硬件结构复杂、机身的一体化强度要求较高，如果振动导致硬件连接异常，螺丝或者模块松懈等等。同时，飞行器自身的振动会影响到飞行的稳定和航拍的效果	影响无人机可靠性的重要环境因素

3 飞行环境特性分析

根据无人机飞行使用环境和侦察能力指标，分析其在飞行侦察时所能遭受的环境因素。

- 1) 高低温环境因素：该型无人机车外、机载设备温度为-40 ~+55 ℃；发动机-25 ℃以上启动；车内设备温度为-20~+55 ℃。
- 2) 湿热环境因素：湿度为 95%±5%，温度为 30~60 ℃交变。
- 3) 低气压环境因素：参照该型无人直升机任务剖面，其侦察飞行高度为海拔 1000 m，在此高度下，无人机将面对低气压工作环境，也是影响无人机飞行可靠性的重要环境因素之一。
- 4) 淋雨环境因素：该型无人机可在小雨（1 mm/h）环境下正常飞行与起降。
- 5) 砂尘环境因素：该型无人机具备在沙漠地形

- 起降的能力。
- 6) 振动力学环境因素：无人机采用共轴双旋翼技术，存在双螺旋桨，螺旋桨飞机上设备的振动主要是由螺旋桨转动诱发的。螺旋桨转速一般是恒定的，其产生的尖峰频率固定，但转速存在少量漂移，故而尖峰有一定带宽，并非纯粹的正弦振动^[7-10]。
- 仪器装备在无人机上的安装和制造过程会有些微差异，以及无人机本身共振频率的差异也会导致尖峰频率具有一定带宽。同时如果工作时螺旋桨速度是变化的，这些尖峰的带宽应包括螺旋桨速度变化时引起频率变化的范围，因此该型无人机需进行随机+窄带随机振动力学环境试验考核。
- 根据 GJB 150.16A—2009《军用设备实验室环境试验方法 第 16 部分 振动试验》^[11]相关内容，军用螺旋桨式飞机设备振动试验的谱型、量值和持续时间见表 2。

表 2 军用螺旋桨式飞机设备振动试验谱型、量值和持续时间

设备位置	振动谱型	量值/(g ² ·Hz ⁻¹)	功能性振动时间
螺旋桨之前机身或机翼内 螺旋桨之后机身或机翼内		$L_1=0.1 \times 1.6$ $L_1=0.3 \times 1.6$	从寿命期剖面中 选取持续时间
在螺旋桨旋转平面的 一个桨叶半径内		$L_1=1.2$	

螺旋桨式飞机振动谱（GJB 150.16A 图 c.9）

由表 2 可以看出，螺旋桨式飞机振动谱是一种随机叠加窄带随机的振动谱，其窄带随机中心频率 f_0 由无人机螺旋桨转动速率与桨叶数共同确定。该型无人机的桨叶数为 2 桨叶（ $f_0=2 \times$ 螺旋桨转速），螺旋桨动力使用

的是二冲程活塞式发动机,其性能指标见表3。

表3 活塞发动机性能

性能	参数
总排量	580.7 cm ³
功率	48 kW (64.4 ph) @6500 r/min
扭矩	55.3 N·m@6000 r/min
最高转速	6800 r/min
起飞	(6800 r/min)不超过 5 min
工作转速	巡航 6500 r/min
	怠速 2000 r/min

由表3可以看出,无人机旋翼最高转速为6800 r/min,即频率为113 Hz。无人机不同工作状态下,旋翼工作转速也不相同,即起飞时频率为113 Hz,巡航时为108 Hz,怠速时为33 Hz,则 $f_0=66$ Hz。实际

飞行时,无人机在这几种不同的状态下转换,因此在振动力学环境试验考核时这几个频率均要进行考核。在随机振动环境考核时,要叠加这3个频率下的窄带,根据所考核部件或结构在机上的位置,按表2计算得到频率所对应的功率谱密度值,对无人机部件和结构进行随机+窄带随机力学环境考核。

4 环境可靠性试验实施

根据无人机飞行工作使用环境分析,确定了该型无人机环境可靠性试验内容与条件,具体见表4。该型无人机环境可靠性试验按表4所列内容与试验条件进行实施,具体试验操作按照GJB 150A相应试验内容规定执行。

表4 无人机环境可靠性试验项目与条件

试验项目	试验条件	实施方法
高低温试验	该型无人机车外、机载设备: -40~+55 ℃; 发动机-25 ℃以上启动; 车内设备: -20~+55 ℃。试验时间: 被试品达到温度稳定后保持2 h; 温度变化速率: ≤ 3 ℃/min	按照 GJB 150.3A、4A《军用设备实验室环境试验方法 第3、4部分 高温、低温试验》进行
湿热试验	湿度为95%±5%, 温度为30~60 ℃交变, 一个试验周期包括升温、高温高湿、降温、低温高湿四个阶段, 时间为24 h, 共10个周期	按照 GJB 150.9 A《军用设备实验室环境试验方法 第9部分 湿热试验》进行
低气压试验	大气压力为 $(1.3 \pm 0.33) \times 10^{-2} \sim 101\ 325$ Pa, 相对湿度小于90%, 最大减压速率为10 000 Pa/min	按照 GJB 150.2A《军用设备实验室环境试验方法 第2部分 低气压试验》进行
淋雨试验	雨滴直径为0.5~4.5 mm; 喷水压力 ≥ 276 kPa; 持续时间为40 min; 被试品状态: 通电工作	按照 GJB 150.8 A《军用设备实验室环境试验方法 第8部分 淋雨试验》进行
砂尘试验	温度为50 ℃; 相对湿度 $\leq 30\%$; 砂尘质量浓度为 (10.6 ± 7) g/m ³ ; 风速为8.9 m/s; 试验方向: 正常安装状态	按照 GJB 150.12 A《军用设备实验室环境试验方法 第12部分 砂尘试验》进行
振动试验	根据本文第4部分内容并结合无人机工作使用条件, 无人机按起飞—巡航—怠速—降落1个起落架次计算其承受振动力学环境时间为2.5 h, 振动环境载荷条件即频率所对应功率谱密度值按所考核部件或结构在机上的位置, 据表2计算得到。例: 所考核部件位于螺旋桨之前机身或机翼内, 则 $L_1=0.16$ g ² /Hz, $f_1=2 \times f_0=132$ Hz; $L_2=0.04$ g ² /Hz, $f_2=198$ Hz; $L_3=0.01$ g ² /Hz, $f_3=264$ Hz, 尖峰带宽为中心频率±5%	按照 GJB150.16 A《军用设备实验室环境试验方法 第16部分 振动试验》进行

5 结语

文中对某型无人机进行了简介,对气候与力学环境因素对无人机可靠性的影响进行了阐述,重点分析了该型无人机工作飞行环境特性。最后确定了该型无人机环境试验内容与条件,并结合相关试验标准进行了试验实施。

参考文献:

- [1] 陈铭. 共轴双旋翼直升机的技术特点及发展[J]. 航空制造技术, 2009, 17(1): 30-31.
- [2] 李杰. 舰载无人机的技术特点与作战使用[J]. 现代军事, 2002, 7(2): 33-35.
- [3] 彭延辉, 徐国华. 无人驾驶直升机的技术发展及其关键技术[J]. 飞行力学, 2004, 22(1): 1-5.
- [4] 张锐, 李波. 无人机系统可靠性分配方法[J]. 南京航空航天大学学报, 2009, 41(12): 107-109.
- [5] 段海滨, 范彦铭, 张雷. 高空长航时无人机技术发展新思路[J]. 智能系统学报, 2012, 7(3): 196-197.
- [6] 孙敏, 葛庆庆. 某型无人机温-湿-高试验的设计与实施[J]. 环境技术, 2015, 12(3): 13-16.
- [7] 姬乐强, 朱清华, 崔钊, 等. 共轴双旋翼自转气动特性[J]. 航空动力学报, 2012, 27(9): 2014-2016.
- [8] 杨璐鸿, 刘顺安, 刘佳琳, 等. 涵道共轴双旋翼前飞气动特性与试验优选设计[J]. 北京理工大学学报, 2015, 35(1): 49-51.
- [9] 刘永志, 查建平. 共轴双旋翼直升机扭振系统固有特性计算方法研究[J]. 航空科学技术, 2018, 29(1): 22-25.
- [10] 吕增岁, 宋日晓, 张华. 共轴式直升机旋翼/机体耦合系统动力学仿真[J]. 航空科学技术, 2017, 28(1): 25-29.
- [11] GJB 150.16, 军用设备环境试验方法振动试验[S].