

# 团 体 标 准

T/ SZUAVIA 011-2019

---

## 多旋翼无人机系统可靠性评价方法

Reliability evaluation methods for unmanned aircraft systems with multi-rotors

2019 - 12 - 23 发布

2020 - 1 - 1 实施

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 评价目标的确定 .....	2
5 抽样 .....	2
6 试验方案 .....	3
7 试验条件 .....	3
8 故障判定 .....	4
9 数据采集 .....	5
10 可靠性评价指标 .....	5
附录 A (资料性附录) 可靠性试验运行记录 .....	8
附录 B (资料性附录) 可靠性试验故障记录 .....	9
附录 C (资料性附录) 故障分析报告表 .....	10

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由深圳无人机行业协会提出并归口。

本标准起草单位：工业和信息化部电子第五研究所、西安赛宝工业技术研究院有限公司、深圳市无人机行业协会、深圳一电航空技术有限公司、广州极飞科技有限公司、广州海关技术中心、广州市华科尔科技股份有限公司、亿航智能设备（广州）有限公司、深圳科比特航空科技有限公司、深圳市科卫泰实业发展有限公司、深圳飞马机器人科技有限公司、苏宁易购集团股份有限公司。

本标准主要起草人：时钟、邝志礼、杨剑锋、王远航、王忠、黄永华、孔叔钊、庞伟、李志耿、黄林华、袁小东、黄心深、夏烨、车嘉兴、李建生、王东、王兴、王文双、李荣、赵辉、张震坤。

本标准于2019年12月首次发布。

# 多旋翼无人机系统可靠性评价方法

## 1 范围

本标准规定了多旋翼无人机系统的可靠性的基本概念,规定了多旋翼无人机系统的可靠性评价的相关术语和定义、抽样、试验方案、试验条件、故障判定、数据采集和指标评价等。

本标准适用于多旋翼无人机系统的可靠性评价。

## 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。

GJB 450A-2004 装备可靠性工作通用性要求

GJB 899A-2009 可靠性鉴定和验收试验

GB/T 2828-2012 计数抽样检验程序

GB/T 5080.1-2012 可靠性试验 第1部分:试验条件和统计检验原理

GJB 5433-2005 无人机系统通用要求

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**多旋翼无人机系统** unmanned aircraft system with multi-rotors

由具有三个及三个以上旋翼轴的飞行器、控制单元、数据链、作业载荷、运行支持单元组成的无人机系统。

### 3.2

**可靠性** Reliability

产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力。

### 3.3

**故障** Fault

产品不能执行规定功能的状态。预防性维修或者其他计划性活动或缺乏外部资源的情况下除外。

### 3.4

**关联故障** Relevant Fault

在解释试验或工作结果或者计算可靠性量值时应计入的失效。

### 3.5

#### 可靠性评价 Reliability Evaluation

对元件、部件、子系统、功能单元、设备、系统等工作固有能力、性能及改进后的效果，进行分析、预计和认定其符合可靠性准则程度的过程。

### 3.6

#### 平均故障间工作时间 mean operating time between failures, MTBF

相邻故障间工作时间的数学期望。

### 3.7

#### 平均首次故障前工作时间 Mean operating time to first failures, MTTF

经过磨合期以后的无人机产品首次进入可用状态直至首次故障发生的持续工作时间。

### 3.8

#### 试验场试验 lab test

试验条件可以人工设定、控制、调整、监控的试验，包括外场试飞和内场等可靠性试验。

### 3.9

#### 外场跟踪试验 field tracking test

无人机产品在用户实际的使用环境下的故障跟踪统计试验。

### 3.10

#### 定时截尾试验 fixed time test

试验前规定产品的试验时间，试验前进行到规定的试验时间，就终止试验。

### 3.11

#### 有替换试验 substitutional test

在定时截尾试验进行中，一个产品出现故障就用一个好的样品替换上去继续试验，直至规定试验时间，然后终止试验。

### 3.12

#### 无替换试验 non-substitutional test

在定时截尾试验进行中，一个产品出现故障就撤下不再补充，而残存的样品继续试验到规定的试验时间。

## 4 评价目标的确定

从整体上描述多旋翼无人机系统的系统工作的可靠性（MTBF、MTTF）水平。

## 5 抽样

### 5.1 抽样原则

抽样原则如下：

- a) 应从合格批次且为近两年内生产的无人机产品中进行抽样；
- b) 推荐采用随机抽样的方式，或按GB/T 2828要求进行抽样。

### 5.2 抽样数量

抽样数量应不小于3台。

## 6 试验方案

### 6.1 分类

可靠性试验分类如下：

- a) 按执行方式（试验场所）：分为试验场试验和外场跟踪试验；
- b) 按试验截止情况：采用定时截尾试验，可根据样机的替换情况分为有替换截尾和无替换截尾两种。

### 6.2 基本要求

可靠性试验方案应满足以下要求：

- a) 新研发的无人机产品采用试验场试验，其他产品可选择试验场试验或外场跟踪试验；
- b) 试验截尾时间应不少于50倍产品续航时间；

## 7 试验条件

### 7.1 预检

预检应满足以下要求：

- a) 试验前按有关产品技术规范对无人机样机进行检验（即预检）；
- b) 预检结果为不合格的样机应进行更换；
- c) 试验前可按产品技术规范对无人机样机进行维护、处理，但不应进行任何质量方面的处理。

### 7.2 试验场试验条件

试验场试验条件如下：

- a) 应根据无人机寿命周期的各种信息事先确定任务剖面和环境剖面；
- b) 可根据任务剖面的信息编制一个或一系列典型程序，以便于在试验场试验中模拟任务剖面；
- c) 试验环境应按无人机的环境剖面布置；
- d) 试验时任务剖面的模拟程序和环境剖面的模拟环境应同时施加，以充分暴露系统故障；
- e) 如采用加速方法进行试验，应满足下列要求：
  - 1) 加速方法应具有明显的加速性；

- 2) 加速方法不应改变故障模式和故障机理;
- 3) 应确定加速系数。

### 7.3 外场跟踪试验条件

外场跟踪试验条件如下:

- a) 一般宜在无人机工作 3 个续航时间后进行可靠性外场跟踪试验。如需跟踪早期故障和正常使用期故障,可在无人机产品投入工作起进行可靠性外场跟踪试验;
- b) 外场使用工况应符合设计及无人机产品使用手册(使用说明书)的相关要求;
- c) 选择观察的样机应尽可能具有相似的工况条件。

## 8 故障判定

### 8.1 故障判据

在试验过程中,出现下列任何一种状态时,应判定受试产品出现故障:

- a) 受试产品不能工作或部分功能丧失;
- b) 受试产品参数检测结果超出允差范围;
- c) 产品的机械、结构部件或元器件发生松动、破裂、断裂或损坏。

### 8.2 故障计数

#### 8.2.1 故障的统计原则

故障的统计原则如下:

- a) 如有若干功能同时丧失或性能指标同时超过了规定界限,且它们是由同一个原因引起的,则判定为只产生了一个故障;
- b) 如有一项功能丧失或性能指标超过了规定界限,且它是由两个或更多独立的故障原因引起,则每一个独立的故障均判定为一个故障;
- c) 如果在同一部位多次出现故障模式相同的间歇故障,则判定为只产生了一个故障;
- d) 故障模式相同,由同一个原因引起的重复发生的故障,如果时间间隔不大于 1 倍产品续航时间,则判定为只产生了一个故障。

#### 8.2.2 计数原则

计数原则如下:

- a) 在计算无人机可靠性指标时,只计关联故障;
- b) 不符合规定程序进行的任何维修和保养,均作为关联故障计数;
- c) 停机检测、试验中止及试验终止时发现的关联故障,应计入故障总数中。

#### 8.2.3 不计数原则

不计数原则如下:

- a) 在计算无人机可靠性指标时,非关联故障不计数但应作记录。非关联故障包括以下方面:
  - 1) 安装不当引起的故障;
  - 2) 误用故障;
  - 3) 误操作故障;
  - 4) 维修不当引起的故障;
  - 5) 试验装置故障引起的故障;
  - 6) 试验条件超过设计规定所造成的故障;

- 7) 除1) ~6) 外, 其他外界因素引起的故障。
- b) 按规定程序进行的预防性维修不作为故障计数, 包括:
  - 1) 按使用手册(使用说明书)规定的易损件的更换或损坏;
  - 2) 必要的调整和调校。
  - 3) 在规定考核期截止范围以外的故障不计数。

## 9 数据采集

### 9.1 试验场试验

试验场试验的数据采集要求如下:

- a) 试验过程中应定期检查无人机工作情况, 并参照附录A的要求进行记录, 记录应准确, 凡有涂改应有记录人的签章和理由说明;
- b) 在试验过程中一旦发生故障, 检验人员应根据故障判定原则及计数原则立即对故障进行记录, 并填写“故障记录表”(参见附录B)和“故障分析报告表”(参见附录C);
- c) 如经检查确定故障是由达到寿命期限的易损件和配套件造成的, 则该故障不计入总数, 但应对相关信息进行记录。

### 9.2 外场跟踪试验

外场跟踪试验的数据采集要求如下:

- a) 无人机可靠性外场跟踪试验的数据采集点应至少在两个以上;
- b) 试验过程中试验方需组织用户检查无人机运行情况, 并参照附录A的要求做好记录。记录应准确, 凡有涂改, 应有记录人的签章和理由说明;
- c) 由用户进行数据采集时, 应就相关定义和含义、故障判定原则等对用户进行培训;
- d) 试验方应定期到用户外场了解试验情况, 并对具体问题予以指导, 同时应定期对用户的记录和报告进行回收并负责保存;
- e) 一旦发生故障, 试验方或用户应根据故障判定原则、技术原则, 立即对故障进行记录, 并填写“故障记录表”(参见附录B)和“故障分析报告表”(参见附录C);
- f) 如经检查确定故障是由达到寿命期限的耗损件和配套件造成的, 则该故障不计入总数, 但应对相关信息作记录;
- g) 若试验期间未发现故障, 或中途停止试验, 应按有关方法处理中断数据。

## 10 可靠性评价指标

### 10.1 平均首次故障前工作时间

平均首次故障前工作时间的点估计的计算公式如下:

$$m = \frac{T_0}{N}$$

式中:

$T_0$  ——所有样品首次故障前工作时间之和, 单位为小时(h);

$N$  ——样品总数。

### 10.2 平均故障间工作时间



### 10.2.1 点估计

平均故障间工作时间的点估计公式：

$$m = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{r} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N r_i}$$

式中：

N——样机总数；

r——样机发生故障总数；

$t_i$ ——评价周期内第i台无人机的累积工作时间，单位为小时（h）；

$r_i$ ——评价周期内第i台无人机的累积故障数。

### 10.2.2 无故障数据分析

如果到定时截尾试验时间，无人机产品没有出现故障，则平均故障间工作时间的置信下限为：

$$m_L = \frac{T}{-\ln(1 - \alpha)}$$

式中：

T——定时截尾试验所有样机总试验时间，单位为小时（h）。

$\alpha$ ——置信度。

### 10.2.2 区间估计

平均故障间工作时间的区间估计方法如下：

$$m_L = mC_L$$

$$m_U = mC_U$$

式中：

$m_L$ ——平均故障间工作时间的置信下限；

$m_U$ ——平均故障间工作时间的置信上限；

$C_L$ ——定时截尾平均故障间工作时间的置信下限系数（见表2）；

$C_U$ ——定时截尾平均故障间工作时间的置信上限系数（见表2）。

表1 定时截尾计算 MTBF 时双侧（或单侧）的置信系数 $C_L$ 、 $C_U$ 

累积故障数 r	置 信 区 间							
	40%双侧		60%双侧		80%双侧		90%双侧	
	70% 单侧下限	70% 单侧上限	80% 单侧下限	80% 单侧上限	90% 单侧下限	90% 单侧上限	95% 单侧下限	95% 单侧上限
1	0.410	2.804	0.334	4.481	0.257	9.491	0.211	19.417
2	0.553	1.803	0.467	2.426	0.376	3.761	0.317	5.658
3	0.630	1.568	0.544	1.955	0.449	2.722	0.387	3.659
4	0.679	1.447	0.595	1.742	0.500	2.293	0.437	2.930
5	0.714	1.376	0.632	1.618	0.539	2.055	0.476	2.534
6	0.740	1.328	0.661	1.537	0.570	1.904	0.507	2.294
7	0.760	1.294	0.684	1.479	0.595	1.797	0.534	2.132
8	0.777	1.267	0.703	1.435	0.616	1.718	0.556	2.008
9	0.790	1.247	0.719	1.400	0.634	1.657	0.573	1.916
10	0.802	1.230	0.733	1.372	0.649	1.607	0.590	1.842
11	0.812	1.215	0.744	1.349	0.663	1.567	0.603	1.783
12	0.821	1.203	0.755	1.329	0.675	1.533	0.615	1.733
13	0.828	1.193	0.764	1.312	0.686	1.504	0.627	1.689
14	0.835	1.184	0.772	1.297	0.696	1.478	0.639	1.653
15	0.841	1.176	0.780	1.284	0.705	1.456	0.649	1.623
16	0.847	1.169	0.787	1.272	0.713	1.437	0.659	1.597
17	0.852	1.163	0.793	1.262	0.720	1.419	0.668	1.597
18	0.856	1.157	0.799	1.253	0.727	1.404	0.676	1.548
19	0.861	1.152	0.804	1.244	0.734	1.390	0.683	1.528
20	0.864	1.147	0.809	1.237	0.740	1.377	0.689	1.508
30	0.891	1.115	0.844	1.185	0.783	1.291	0.737	1.389

附录 A

(资料性附录)

可靠性试验运行记录

表 A.1 可靠性试验运行记录表

产品名称		产品型号				出厂编号	
生产厂家		出厂日期				起用日期	
试验时间	年 月 日 时 至 年 月 日 时						
序号	日期	系统运行时间		故障停机时 间	恢复使用时 间	预防维修时 间	负责人签字
		开始	结束				

附录 B  
 (资料性附录)  
**可靠性试验故障记录**

表 B.1 可靠性试验故障记录表

产品名称					产品型号			
生产厂家					出厂日期			
试验时间		年 月 日 时 至 年 月 日 时						
现场工况条件								
序号	日期	故障开始时间	恢复时间	故障现象	故障部位(多个)		处理措施	

附录 C  
(资料性附录)  
故障分析报告表

表 C.1 故障分析报告表

产品名称		产品型号		出厂编号	
生产厂家		出厂日期		起用日期	
发现故障时间		累计工作时间		恢复时间	
故障现象					
故障分类					
处理措施					