



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

民用无人机可靠性飞行试验要求与方法

Requirements and methods for reliability flight test of civil unmanned
aerial vehicle

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

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 缩略语.....	1
5 一般要求.....	1
5.1 试验目的.....	1
5.2 试飞大纲.....	2
5.3 试验对象.....	2
5.4 试验人员.....	2
5.5 试验信息采集.....	2
5.6 试验条件.....	2
5.7 试飞报告.....	2
6 详细要求.....	2
6.1 飞行试验要求.....	2
6.2 飞行试验方法.....	3
6.3 数据采集与处理.....	5
附录 A（规范性）可靠性参数评估验证方法.....	7
附录 B（资料性）可靠性飞行试验要求选取建议.....	10

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。

本文件由全国航空器标准化技术委员会（SAC/TC 435）提出并归口。

本文件起草单位：中国飞行试验研究院、中国航空综合技术研究所。

本文件主要起草人：。

民用无人机可靠性飞行试验要求与方法

1 范围

本文件规定了民用无人机可靠性飞行试验的要求、方法、数据采集与处理等内容。
本文件适用于民用无人机的可靠性飞行试验，其他类型的无人机可靠性飞行试验参照使用。

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/T 4087 数据的统计处理和解释二项分布可靠度单侧置信下限
GB/T 35018 民用无人驾驶航空器系统分类及分级
GB/T 38152 无人驾驶航空器系统术语
CCAR-21 中国民用航空规章 民用航空产品和零部件合格审定规定
CCAR-23 中国民用航空规章 正常类、实用类、特技类和通勤类飞机适航规定
CCAR-25 中国民用航空规章 运输类飞机适航标准

3 术语和定义

GB/T 3501、GB/T 38152界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

功能和可靠性试飞 **function and reliability flight test**

按要求在预期的各种使用环境下，通过一定飞行时间的频繁使用和反复操作，验证无人机及其系统和设备功能正常和工作可靠的机上地面试验和飞行试验。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

F&R—function & reliability, 功能和可靠性;
MFHBF—mean flight hour between failures, 平均故障间隔飞行小时;
MTBCF—mean time between critical failures, 平均严重故障间隔时间。

5 一般要求

5.1 试验目的

可靠性飞行试验的目的是：

- a) 验证无人机可靠性水平；
- b) 发现问题和不足，为设计更改提供依据，实现可靠性增长。

5.2 试飞大纲

应编制可靠性飞行试验大纲，规范可靠性飞行试验要求、方法及数据处理等，试飞大纲一般包含试飞目的、试飞项目、试飞内容、试飞方法、数据处理与评定准则等内容。

5.3 试验对象

试验对象（被试无人机）的技术状态应符合型号技术要求。

5.4 试验人员

无人机可靠性飞行试验人员包括可靠性专业技术人员、无人机操作人员、测试专业人员、维护保障人员等，相关人员应具备资质，能力满足要求。

5.5 试验信息采集

试验单位应和承制方、用户共同建立和使用故障报告、分析和纠正措施系统，收集可靠性飞行试验期间出现的故障信息、工作时间信息及其他信息。

5.6 试验条件

5.6.1 环境条件

无人机可靠性飞行试验的环境条件应符合合同、任务书或品规范的规定内容。

5.6.2 任务剖面

无人机可靠性飞行试验的任务剖面依据无人机典型任务剖面制定，任务剖面一般包括高度、速度、重量、重心及构型等，任务剖面的种类和数量应由试验方和用户共同确定。

5.6.3 其他条件

可靠性飞行试验开始前，应满足以下条件：

- a) 无人机已完成可靠性预计或分析，且预计满足规定的要求；
- b) 建立试验组织，相关试验人员具备资质和能力要求；
- c) 无人机经过一定时间的飞行使用，基本排除早期故障；
- d) 无人机操作和维护保障人员正确掌握无人机的使用和维修方法；
- e) 可靠性飞行试验所需的保障要素已到位并满足使用要求。

5.7 试飞报告

应编制试飞报告，试飞报告内容一般包括试飞目的、试飞内容、试飞方法、试飞结果、试飞结论、问题与建议等。

6 详细要求

6.1 飞行试验要求

6.1.1 总则

可靠性飞行试验要求可分为如下 3 类：

- a) 定量评估；
- b) 定性评价；
- c) 功能和可靠性试飞。

针对不同类型无人机，可选取不同飞行试验要求。在无特殊说明的情况下，可参照附录 B 进行选取。

6.1.2 定量评估要求

可靠性飞行试验定量评估要求一般包括：

- a) 平均故障间隔飞行小时(MFHBF)；
- b) 平均严重故障间隔时间(MTBCF)；
- c) 任务可靠度；
- d) 使用可用度；
- e) 无维修待命时间。

6.1.3 定性评价要求

可靠性飞行试验定性评价要求一般包括：

- a) 研制要求（合同或任务书）等规定的定性要求；
- b) 可靠性设计要求落实情况；
- c) 故障的分布情况；
- d) 典型、多发故障的分析、纠正情况；
- e) 可靠性增长趋势分析；
- f) 其他要求。

6.1.4 功能和可靠性试飞

功能和可靠性试飞一般包含适应性试验和系统功能试验：

- a) 适应性试验，主要验证飞机在预期各种使用环境下运行的适应性。主要验证条款包括：CCAR21§21.35 (b) (2)、CCAR-25§25.1301 (a) (4)、CCAR-25§25.1309 (a)；
- b) 系统功能试验，主要根据 CCAR-21、CCAR-23、CCAR-25 中规定的要求针对无人机各开展验证，包括：自动飞行系统、通信系统、电源系统、燃油系统、液压系统、指示记录系统、导航系统、地面站等系统/设备。

6.2 飞行试验方法

6.2.1 定量参数评估方法

6.2.1.1 平均故障间隔飞行小时

平均故障间隔飞行小时应通过飞行试验统计数据进行验证。MFHBF参数计算模型见附录A中A.2.1。

6.2.1.2 平均严重故障间隔时间

平均严重故障间隔时间应通过飞行试验统计数据进行验证。MTBCF参数计算模型见附录A中A.2.2。

6.2.1.3 任务可靠度

任务可靠度应根据不同情况，采用不同的方法进行验证，参数计算模型见附录A中A.2.3：

- a) 开展可靠性专项试飞，试飞剖面符合研制要求的典型剖面，可采用GB/T 4087中基于二项分布的任务可靠度单侧置信下限的方法进行验证；专项试飞样本量应根据给定的任务可靠度要求和置信度计算得出，计算方法按照附录A中A.2.3.1；
- b) 未开展可靠性专项试飞，试飞剖面不固定，可采用基于平均严重故障间隔时间转换的方法进行验证。

6.2.1.4 使用可用度

使用可用度一般通过飞行试验统计数据进行验证，参数计算模型见附录A中A.2.4。

6.2.1.5 无维修待命时间

无维修待命时间一般通过专项测试的方法进行验证，专项测试要求如下：

- a) 无人机状态：全状态无人机，发动机进气口加堵盖，口盖及舱门关闭，滑油、液压油、燃油（电动无人机电量）满足要求；
- b) 停放状态：按照无人机停放要求停放；
- c) 停放前准备：按飞行前准备要求对无人机进行检查，确保无人机达到可飞行状态；
- d) 试验次数：不少于3次，一般要求在冬、夏典型季节采用多架无人机进行；
- e) 测试记录：记录无人机停放日期及停放期间的气象条件。停放规定时间后进行飞行前检查，记录检查结果；
- f) 测试数据处理：经正常飞行前检查后若能达到飞行状态，则视为本次试验成功；若发现有责任故障，则视为本次试验失败；
- g) 若多次试验均成功，给出无维修待命时间满足要求的结论；否则给出不满足的结论。

6.2.2 定性要求评价方法

6.2.2.1 故障分布统计

对可靠性试飞验证期间发生的故障，应按照专业划分、系统划分、试飞年度、典型故障（多发故障）等不同分类方式进行统计，分析影响整机可靠性水平的主要因素，宜采用饼图、直方图、折线图、故障率曲线图、表格等不同的形式给出可靠性统计分析结果。

6.2.6.2 典型、多发故障的分析、纠正情况统计

对于可靠性评估验证过程中发生的典型和多发故障，应分别进行统计分析，说明故障发生次数、故障现象、故障原因、采取的纠正措施等，并根据专门的故障验证试飞或随机使用试飞，对其纠正措施有效性进行评价。

6.2.6.3 可靠性增长趋势分析

宜采用直方图、折线图、故障率曲线图、表格等不同形式给出可靠性增长趋势分析结果。

6.2.3 功能和可靠性试飞方法

按要求在预期的各种使用环境下，对民用无人机进行一定飞行时间的频繁使用和反复操作，以验证民用无人机主要系统和设备的功能是否正常、工作是否可靠。一般情况下，大中型无人机功能和可靠性试飞时间不少于150 h，轻小型无人机功能和可靠性试飞时间应不少于30 h。

F&R 试飞要求如下：

- a) 应完成规定的全部试验内容，并达到最低试验要求；

- b) 应按要求收集数据以表明试验飞机及其零部件和设备工作可靠，功能正常；
- c) 因故障更换的零部件应经过故障分析，并完成工程处理；
- d) 由 F&R 飞行试验产生的问题应完成分析和归零处理。

6.3 数据采集与处理

6.3.1 数据采集

可靠性飞行试验数据采集内容一般包括

- a) 故障发生时间；
- b) 故障件名称/型号；
- c) 故障件累积工作时间；
- d) 架次飞行时间；
- e) 故障发现时机；
- f) 故障现象故障判明方法；
- g) 故障原因；
- h) 故障后果；
- i) 故障责任；
- j) 故障纠正措施及故障验证信息等。

6.3.2 故障分类与统计

6.3.2.1 故障分类

故障分为关联故障和非关联故障。其中，非关联故障在可靠性飞行试验中不予采集；关联故障又分为责任故障和非责任故障，在可靠性飞行试验中应予采集。

6.3.2.2 责任故障判别准则

责任故障判别准则为：

- a) 由于设计缺陷或制造工艺不良造成的故障；
- b) 由于元器件潜在缺陷致使元器件失效而造成设备故障。在有多个同一类型元器件同时失效的情况下，每个元器件的失效均应看作一个独立的责任故障，除非可以证明一个失效引起了另一个或另一些失效；
- c) 某些已知有限寿命的零件（如电池）在规定寿命结束之前出现的故障；
- d) 由一个零件故障同时引起设备的多重故障模式时，整个事件记为一次责任故障；
- e) 首次出现的间歇故障记为一次责任故障；
- f) 如果在试飞期间观察到的性能输出正在降低，但仍然在规定的范围内，允许进行原位调整，如果调整需离位进行，则记为一次责任故障；
- g) 评估期间所有出现的故障征兆，尚未超出性能极限的更换均记为责任故障；
- h) 机内自检测装置的任何故障（包括引起机内检测设备非计划维修的虚警）均记为责任故障；
- i) 飞行中发现的而地勤人员无法证实的异常情况，均记为责任故障。

6.3.2.3 非责任故障判别准则

非责任故障判别准则为：

- a) 由于误操作而造成的故障；
- b) 可证实是由于检查或维修人员引入的人为故障；

- c) 同一间歇故障在同一单元上第二次(或随后的任何一次)出现;
- d) 已知有限寿命零件在规定期限之后出现的故障;
- e) 从属故障;
- f) 允许在线进行的调校;
- g) 可直接归因于非正常外界环境因素造成的故障;
- h) 明显可归因于超出设计要求的过应力条件造成的故障;
- i) 通过门限调整克服的故障或计算机软件超过维护时限引起的故障。

6.3.2.4 责任故障统计

对故障进行分类后,按每出现一次责任故障即应记入故障次数的原则进行统计:

- a) 在一次工作中出现的同一部件或设备的间歇故障只记一次故障;
- b) 已经报告过的故障由于未能真正修复而又再次出现的,应和原来报告过的故障合记为一次故障;
- c) 零部件的轻微缺陷,若不丧失规定功能,并且能够按照维护规程通过各类检查予以原位修复(不引起拆卸)的事件,不记入故障次数;
- d) 在评估过程中,已确认为非责任故障的故障不记入故障次数;
- e) 当对故障采取了纠正措施,且累积了足够的飞行小时表明纠正措施有效,经过使用方对故障纠正的认可并在所有同型民用无人机上得到落实后,则原计作的责任故障只保留一次。

6.3.3 严重故障判别准则与统计

6.3.3.1 判别准则

严重故障是指影响无人机任务和飞行安全的故障,一般包括:

- a) 无人机系统故障,引起提前返航;
- b) 机载设备不能完成主要任务;
- c) 测控链路故障,无法正常传输信息;
- d) 地面控制站工作期间,出现相应的功能性失效。

6.3.3.2 严重故障统计

因无人机故障引起下列情况之一者,记入严重故障次数:

- a) 提前返航或提前着陆;
- b) 任务中断或被迫改变飞行任务;
- c) 任务失败或无人机失事。

附录 A (规范性) 可靠性参数评估验证方法

A.1 主题内容

本附录提供了几种可靠性参数的验证方法，供参考。

A.2 可靠性定量参数评估方法

A.2.1 平均故障间隔飞行小时

采用公式(A.1)计算平均故障间隔飞行小时单侧置信下限(T_{MFHBF}):

$$T_{MFHBF} = \frac{2T_f}{\chi^2(\alpha, 2r + 2)} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

T_{MFHBF} —平均故障间隔飞行小时 MFHBF 单侧置信下限, h;

T_f —累积飞行时间, h;

r —累积责任故障数;

α —显著性水平, 用户未特殊要求时, 一般取 0.2。

A.2.2 平均严重故障间隔时间

采用公式(A.2)计算平均严重故障间隔时间(T_{BCF}):

$$T_{BCF} = \frac{2T_f}{\chi^2(\alpha, 2r_c + 2)} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

T_{BCF} —平均严重故障间隔时间单侧置信下限, h;

T_f —累积飞行时间, h;

r_c —累积严重故障次数;

α —显著性水平, 用户未特殊要求时, 一般取 0.2。

A.2.3 任务可靠度

A.2.3.1 基于二项分布的任务可靠度

依据 GB/T 4087 的方法采用基于二项分布的可靠度单侧置信下限, 给出任务可靠度值评估值。

当 $F=0$ 时, 采用公式(A.3)计算任务可靠度:

$$R_L = \sqrt[n]{1-\gamma} \dots\dots\dots(A.3)$$

当 $F>0$ 时, 采用公式(A.4)计算任务可靠度:

$$\sum_{x=0}^F \binom{n}{x} R_L^{n-x} (1-R_L)^x = 1-\gamma \dots\dots\dots(A.4)$$

当 $F=n-1$ 时, 公式 (A.4) 可简化为公式 (A.5), 计算任务可靠度:

$$R_L = 1 - \sqrt[n]{\gamma} \dots\dots\dots(A.5)$$

当 $F=n$ 时,

$$R_L = 0 \dots\dots\dots(A.6)$$

式中:

R_L —任务可靠度单侧置信下限值;

n —累计飞行架次数;

F —任务失败架次数;

γ —置信度。

A.2.3.2 基于平均严重故障间隔时间转换的任务可靠度

采用公式 (A.7) 计算任务可靠度。

$$R_M = e^{\frac{-\Delta t}{T_{BCF}}} \dots\dots\dots(A.7)$$

式中:

R_M —任务可靠度;

T_{BCF} —平均严重故障间隔时间, h;

Δt —典型任务时间。

A.2.4 使用可用度

采用公式 (A.8) 计算使用可用度。

$$A_O = \frac{T_O + T_S}{T_O + T_S + T_{CM} + T_{PM} + T_D} \dots\dots\dots(A.8)$$

式中:

A_O —使用可用度;

T_O —工作时间;

T_S —待命时间 (能工作不工作时间);

T_{CM} —修复性维修时间;

T_{PM} —预防性维修时间；

T_D —管理和保障延误时间。

附录 B
(资料性)
可靠性飞行试验要求选取建议

B.1 主题内容

本附录提供了大型、中型、小型、轻型、微型等不同类型无人机可靠性飞行试验要求选取的建议，供参考。

B.2 可靠性飞行试验要求选取建议

如另有规定外，民用无人机可靠性飞行试验选取参见表 B.1。

表 B.1 无人机可靠性飞行试验要求选取建议

序号	项目类别	飞行试验要求	无人机类别				
			大型	中型	小型	轻型	微型
1	定量评估要求	平均故障间隔飞行小时	★	★	★	★	★
2		平均严重故障间隔时间	★	★	★	★	★
3		任务可靠度	★	★	☆	☆	□
4		使用可用度	★	★	☆	☆	□
5		无维修待命时间	★	★	☆	□	□
6	定性评价要求	定性评价要求	★	★	★	★	★
7	功能和可靠性试飞	功能和可靠性试飞	★	☆	☆	☆	□
注： ★表示应要求。 ☆表示可要求。 □表示不要求。							