

团 体 标 准

T/CAMC 0020-2025

低空装备可靠性试验测试通用技术要求

General technical requirements for reliability test of low-altitude
equipment

征求意见稿

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国计算机自动测量与控制技术协会 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 一般要求	2
4.1 试验目的	2
4.2 试验场所	2
4.3 试验人员	3
4.4 统计方案	3
4.5 试验应力	3
4.5.2 综合环境条件	3
4.6 试验设施和仪器	3
4.7 受试装备	4
4.7.1 试验前对受试装备的要求	4
4.7.2 试验期间对受试装备的要求	4
4.7.3 试验结束后受试装备的要求	4
4.8 试验数据	4
5 可靠性试验准备的工作要求	5
5.1 试验方案	5
5.2 试验大纲	5
5.3 试验程序	6
5.4 试验准备情况评审	6
6 可靠性试验实施的工作要求	6
6.1 应力施加	6
6.2 试验监测	6
6.3 故障处理	6
6.4 试验结束	7
6.5 试验过程情况评审	7
7 可靠性试验后的工作要求	7
7.1 归零报告	7
7.2 试验报告	7
7.3 试验完成情况评审	8

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。

本文件由中国计算机自动测量与控制技术协会提出并归口。

本文件起草单位：工业和信息化部电子第五研究所、西安西测测试技术股份有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、无锡凯美锡科技有限公司、贵州航谷动力科技有限公司、北京国科标研科技有限公司。

本文件主要起草人：于敏、杨亚楠、李泽新、刘四平、李继成、王麒源、周亮、陈平、刘剑平、姚伟、尚尔钧、张林虎。

低空装备可靠性试验测试通用技术要求

1 范围

本文件规定了低空装备可靠性试验的试验目的、试验场所、试验人员、统计方案、综合环境条件、试验设施和仪器、受试装备、试验数据等一般要求，以及可靠性试验准备、可靠性试验实施、可靠性试验后工作的详细要求。

本文件适用于失效间隔工作时间服从指数分布（即故障率为常数）或近似指数分布的低空装备的可靠性试验工作，其它类型低空装备可靠性试验可参照执行。

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 2900.99—2016 电工术语 可信性

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

GB/T 19001 质量管理体系 要求

GB/T 37079—2018 设备可靠性 可靠性评估方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

低空装备 low altitude equipment

运行于低空空域的各类设备总称，包括低空飞行器、起降场（点）基础设施、低空管控平台及配套感知设备等。

3.2

可靠性 reliability

在给定的条件，给定的时间区间，能无失效地执行要求的能力。

注 1：持续时间区间可用产品有关的适合的计量单位表示，例如日历时间、工作周期、行程等，这些计量单位宜清晰的阐述。

注 2：给定的条件包括影响可靠性的各个方面，如：运行模式、应力水平，环境条件和维修。

[来源：GB/T 2900.99—2016, 192-01-24, 有修改]

3.3

试验 test

为确定一种或多种特性而执行的过程。

注 1:产品样本试验是通过所抽取产品样本的试验来反映总体的信息。

注 2:试验可用于评估产品的可信性特性,如:可靠性和维修性。

[来源: GB/T 2900.99—2016, 192-09-01, 有修改]

3.4

可靠性试验 reliability test

对产品可靠性量度或性质进行测量、定量或分类所实施的试验。

注 1:可靠性试验不同于环境试验,环境试验的目的是证明产品能经受得住存储在存储、运输和使用中极端环境的试验。

注 2:可靠性试验可包括环境试验。

[来源: GB/T 5080.1—2012, 3.1.26]

3.5

平均失效间隔工作时间 mean operating time between failures

MTBF

失效间隔运行持续时间的期望值。

[来源: GB/T 2900.99—2016, 192-05-13, 有修改, 删除注]

3.6

失效报告、分析及纠正措施系统 failure reporting、analysis corrective action system

FRACAS

通过试验、修改和使用经验的反馈,来改进当前和未来设计可信性的闭环过程。[来源: GB/T 2900.99—2016, 192-12-04]

4 一般要求

4.1 试验目的

低空装备可靠性试验目的应包括:

a) 评估低空装备的可靠性水平,可包括故障统计与分析评估、可靠性变化趋势分析等定性评估,以及平均失效间隔工作时间(MTBF)等定量评估;

注:可靠性评估方法可参见 GB 37079—2018 等标准。

b) 验证低空装备的可靠性是否符合要求;

c) 发现低空装备的薄弱环节,为低空装备的设计更改提供依据,实现可靠性增长。

4.2 试验场所

根据 GB/T 5080.1—2012 的 4.3.2 节,低空装备可靠性试验场所可包括:

a) 实验室:在独立于承制方的有资质的实验室中开展低空装备试验,实验室应依据 GB/T19001 等标准建立质量体系,并通过认可;

注:在实验室开展可靠性试验时,测试和评估可以在可控的试验条件下进行,因此试验具有再现性。

注:建议试验人员的操作技能与现场使用人员考虑的操作技能相似。

b) 现场:在低空装备使用现场开展可靠性试验。

注:现场试验相较于实验室试验,可以提供更多真实的试验结果,并且需要较少的试验设施。

注:现场试验不能在严格受控的条件下进行,使得现场试验的再现性远远不如实验室试验。

4.3 试验人员

试验人员除测试人员外还应包括低空装备操作员、维修保障人员、可靠性专业人员等，其中低空装备操作员应满足低空装备操控资质的相关要求，其他人员应具备相应的上岗条件。

4.4 统计方案

根据统计方案可确定低空装备的 MTBF 的真值是否达到合同要求，并给出 MTBF 的观测值和验证区间。为低空装备的可靠性试验选择统计方案时，应综合考虑产品的成熟程度及预期的寿命、类似产品的验证值、进度要求及可做试验的时间、经费、费用以经费时间的权衡等。低空装备统计方案选择的一般原则是：

- a) 序贯试验统计方案：若事先已知低空装备的可靠性水平较高或较低时，并希望尽早对 MTBF 作出接收或拒绝判收时，可选用序贯试验统计方案，试验应进行到总试验时间或责任故障数达到统计方案可以作为接收或拒收判决时为止；
- b) 定时截尾方案：若事先知道精确的试验时间和费用，可选用定时试验统计方案，试验的持续时间应在合同或产品规范中规定。

统计方案应在合同或产品规范中规定，并在可靠性试验大纲中详细规定。

4.5 试验应力

4.5.1 选取原则

装备可靠性试验所要施加应力的优先次序如下：

- a) 实测应力，根据低空装备在实际使用中执行典型任务剖面时，在受试装备安装位置附近测得的数据，经过分析处理后确定的应力；
- b) 估计应力，根据处于相似位置、具有相似用途的低空装备在执行相似任务剖面时测得的数据，经过分析处理后确定的应力；

注：仅当无法得到实测应力的情况下才可使用估计应力。

- c) 参考应力，根据通用装备及相关标准提供的数据、公式和方法导出的应力。

注：只有在无法得到实测应力或估计应力的情况下方可使用参考应力。

4.5.2 综合环境条件

应根据试验对象的现场使用和任务环境特征确定可靠性试验的综合环境条件及其与时间的关系。若订购方无其他规定，则可将以下规定的各种应力综合在一起，制定试验剖面、应力量值及其变化率：

- a) 电应力，包括产品的通断电循环、规定的工作模式及工作周期、规定的输入标称电压及其最大允许偏差；
- b) 振动应力，振动应力量值和剖面应按产品的现场使用类别、产品的安装位置和预期使用情况确定，确定时应考虑振动类型、频率范围、振动量值、振动施加的方向和方式等因素；
- c) 温度应力，温度应力剖面应真实地模拟受试装备在使用中经历的实际环境，确定时应考虑起始温度、工作温度、每一任务剖面的温度变化情况、冷却气流等因素；
- d) 湿度应力，试验循环期间对湿主工一般不加控制，只在需要时（如预计现场使用中会出现冷凝、结霜或结冰等），才在试验循环的适当阶段喷入水蒸气，以模拟使用中的环境条件。

4.6 试验设施和仪器

试验设施和仪器应能保证产生和保持试验所需的综合环境条件，并按照有关规定经过校准、检定合格并在有效期内。所有仪器、仪表应满足其精度至少为被测参数容差的三分之一。

当试验设施和仪器在试验期间运行异常或发生故障时，维修保障人员应视情况作应急处理，同时将故障现象、发现时机、试验应力等进行详细记录。经确认需终止试验时，应以尽量不影响受试装备的方式将试验箱温度调整到常温。

在试验设施和仪器排故的同时，必须对受试装备进行全面检查，以排除试验设施和仪器故障对受试装备可能造成的影响。

4.7 受试装备

4.7.1 试验前对受试装备的要求

作为进行低空装备可靠性试验对象的受试装备，应符合装备技术要求。受试装备的数量可根据生产批量大小、试验时间和进度而定，必须从所代表的按照同一设计文件和生产工艺进行生产的母体中随机抽取，抽样数量一般至少两台，但若生产量不足 3 台时，允许抽样数量为 1 台。

受试装备应完成产品规范要求的性能试验、电磁兼容、软件测试和有关的环境适应性试验的验证。

为了保证可靠性试验的顺利进行和结果的准确性，试验前受试装备应进行应力筛选，消除早期故障，而受试装备的任何老练或其它预处理应力应与投入使用的所代表的母体装备所承受的应力相同，不得进行特别处理。

试验开始前，应在标准大气条件下进行全面的性能检查，测得的功能和性能应符合装备规范的要求，作为与试验期间和试验结束时测得的性能进行比较的基准。

4.7.2 试验期间对受试装备的要求

试验期间，应全程监控受试装备的功能和性能指标，并在规定的检测点按照规定的检测项目和检测方法对装备进行检测和记录，以确定受试装备功能性能是否符合其规范的要求，并将测得的性能数据与试验前和试验期间其它循环测得的性能数据进行比较，以确定受试装备性能变化的趋势，并确定受试装备的关联责任故障和有效试验时间。

4.7.3 试验结束后受试装备的要求

试验结束后，应在标准大气条件下进行全面的性能检查，以确定受试装备功能和性能是否符合其规范的要求，并将测得的性能数据与试验前和试验期间测得的性能数据进行比较，以确定受试装备性能变化的趋势。

4.8 试验数据

应收集可靠性试验中产生的数据，一般包含工作数据、故障数据和运行时间数据等。

在试验过程中，在规定的条件下，受试装备不能工作或受试装备的性能检测结果不满足规定要求时，应判定受试产出现故障。

对于故障数据，宜应用失效报告、分析和纠正措施系统（FRACAS）收集可靠性试验期间出现的所有故障数据，分析故障发生的原因，采取纠正故障的措施，并做好记录。

故障分为关联故障和非关联故障，非关联故障指测试错误或仪器仪表故障等非受试装备产生的故障现象。关联故障应进一步可分为责任故障和非责任故障，试验过程中，下列情况可判为非责任故障，如：

- a) 误操作引起的受试装备故障；
- b) 试验设施及仪器故障引起的受试装备故障；
- c) 超出设备工作极限的环境条件和工作条件引起的受试装备故障；
- d) 修复过程中引入的故障；

- e) 将有寿器件超期使用, 使得该器件产生故障及其引发的从属故障。除上述可判定为非责任的故障外, 其他所有故障均判定为责任故障, 如:
- f) 由于设计缺陷或制造工艺不良而造成的故障;
- g) 由于元器件潜在缺陷致使元器件失效而造成的故障;
- h) 由于软件引起的故障;
- i) 间歇故障;
- j) 无法证实原因的异常。

对于已划定的责任故障, 不应因为采取纠正措施进行纠正而列入非责任故障。

非责任故障和非关联故障均不应作为判决受试装备合格与否的依据, 而责任故障是受试装备自身缺陷所产生的故障, 是判决受试装备合格与否的依据。受试装备生产厂家应根据受试装备的特点及技术规范在试验前规定明确的责任故障分类。

5 可靠性试验准备的工作要求

5.1 试验方案

根据低空装备的研制工作要求, 制定可靠性试验方案。可靠性验证试验方案应规划低空装备的可靠性试验工作, 为低空装备开展可靠性试验提供依据, 可靠性试验方案应包括下述内容:

- a) 明确试验目的;
- b) 明确试验对象及数量;
- c) 确定统计试验方案的确定原则;
- d) 确定综合环境条件的确定原则;
- e) 确定试验场所的原则;
- f) 明确评审点;
- g) 明确试验进度;
- h) 其他项目。

宜通过评审等方式对低空装备可靠性试验方案进行确认。

5.2 试验大纲

根据低空装备的试验方案制定可靠性试验大纲。可靠性试验大纲应结合低空装备的特点制定, 为低空装备开展可靠性试验提供依据。可靠性试验大纲应包括下述内容:

- a) 试验目的和适用范围;
- b) 引用标准和文件;
- c) 受试装备的说明和要求;
- d) 统计方案;
- e) 综合环境条件;
- f) 试验设施和仪器;
- g) 受试装备的检测项目及合格判据;
- h) 故障判据、分类和统计原则;
- i) 试验前有关工作;
- j) 试验过程中的检测及记录要求;
- k) 故障的报告和处理要求;

1) 有关问题的说明。

宜通过评审等方式对低空装备可靠性试验大纲进行确认。

5.3 试验程序

在可靠性试验大纲确认后，应根据低空装备的可靠性试验大纲制定相应的可靠性试验的试验程序，以保证低空装备可靠性试验大纲的实施。可靠性试验程序应包括下述内容：

- a) 试验设施和测试产品；
- b) 综合环境条件及其施加方式；
- c) 试验检测；
- d) 试验开始前有关工作；
- e) 试验实施步骤；
- f) 故障处理程序；
- g) 试验设施故障处理程序。

5.4 试验准备情况评审

低空装备可靠性试验开始前，根据需要应在试验现场组织一次试验前准备工作评审，以确定试验条件是否具备，确保试验大纲及试验程序中规定的所有试验要求得以满足，并为各方所理解。试验前准备工作评审主要包括下列各项内容：

- a) 可靠性试验程序是否满足可靠性试验方案和大纲的要求；
- b) 专用测试设备和试验设施的检测结果和状态情况；
- c) 质量控制与保证措施是否完善；
- d) 试验前发现的问题和故障的情况汇总及归零情况；
- e) 受试装备的技术状态及完成的相关工作是否满足可靠性试验要求。

6 可靠性试验实施的工作要求

6.1 应力施加

试验过程中按试验程序施加试验大纲规定的综合环境应力，温度应力、湿度应力、电应力、振动应力同步施加。

6.2 试验监测

低空装备可靠性试验过程中，应按试验程序要求对受试装备进行性能检测，并记录检测结果。在检测过程中，若此次检测发现故障而无法判断故障发生的具体时间，则认为故障发生的时间为上一次的检测时间。检测过程中，承试方和订购方应与承制方的试验人员共同进行检测，并对检测结果进行会签；试验过程中，承试方应对试验设施进行连续监测，以保证电应力、温度应力、湿度应力及振动应力在规定的容差范围内，并对监测结果进行连续记录。

6.3 故障处理

试验期间，受试装备的异常现象在根据试验大纲规定判为故障时，应执行故障处理程序，一般包括以下方面：

- a) 故障报告, 填写可靠性试验故障报告表, 详细记录故障现象, 发现故障时的环境条件, 出现故障时故障产品的试验时间、通电时间等;
- b) 故障分析, 承制方对故障产品进行故障分析, 填写可靠性试验故障分析报告表, 必要时附上失效机理分析报告等;
- c) 故障纠正, 对故障进行纠正, 并对纠正措施进行验证, 承制方将纠正措施填写在可靠性试验纠正措施报告表中。

在可靠性试验期间, 除进行上述故障处理外, 还可进行产品使用期间规定的和列入试验大纲中的预防性维修。除经订购方特殊批准的以外, 可靠性试验期间或修理过程中不应采取任何其他的预防性维修措施。

6.4 试验结束

当试验过程中出现的责任故障数超出统计方案规定的接收故障数时, 即可做出拒收判决, 此次可靠性验证试验结束。

当累积试验时间达到统计方案中规定的试验时间, 且受试装备发生的责任故障数小于统计方案规定的拒收故障数时, 即可做出接收判决。对于多台产品试验, 只要有一台产品的累计试验时间少于全部受试装备平均试验时间的一半则不应作出合格判决。

6.5 试验过程情况评审

在低空装备可靠性试验期间, 根据需要可安排试验过程评审, 以便及时审查试验的进展情况和最新的试验结果。过程评审至少应考虑以下内容:

- a) 根据试验数据估计受试的低空装备的可靠性水平;
- b) 对试验期间出现的故障, 应及时进行故障原因分析并作出结论。

7 可靠性试验后的工作要求

7.1 归零报告

对于低空装备可靠性试验过程中出现的责任故障, 承制方应完成归零工作, 并形成归零报告。归零报告的主要内容如下:

- a) 故障发生时的时间, 故障发生时间、累计试验时间、累计通电工作时间;
- b) 故障发生时的环境条件, 综合环境下的温度条件湿度条件、振动条件以及电应力;
- c) 故障现象, 发现故障时的产品状况;
- d) 故障原因, 分析导致故障现象出现的具体原因和原理, 必要时进行故障树分析并出具报告;
- e) 故障复现, 为证实故障原因分析的准确性, 必要时进行故障复现;
- f) 故障纠正措施, 采取的设计、管理等方面的纠正措施, 并验证纠正措施的有效性;
- g) 举一反三情况, 分析与该故障类似的情况, 并进行设计、管理方面的改进;
- h) 其他相关内容。

7.2 试验报告

低空装备可靠性试验报告应包括关于受试装备可靠性全面分析及其有关数据和信息的简要说明。可靠性试验报告的主要内容如下:

- a) 试验内容、目的和结论;
- b) 试验依据;

- c) 试验时间、地点及试验人员；
- d) 受试装备说明；
- e) 统计方案；
- f) 综合环境条件及应力施加方法说明；
- g) 试验设施和仪器情况；
- h) 试验前准备工作情况；
- i) 试验过程描述；
- j) 试验中发生的故障次数、故障分类及故障处理情况；
- k) 可靠性试验结论；
- l) 存在的问题和建议；
- m) 其他需要说明的有关事项。

在完成试验工作后，需要时，可将试验过程中的所有情况进行总结，编写可靠性试验工作总结报告，报告可包括试验依据、组织机构、试验方案、试验过程、故障情况、纠正措施、试验结论、经验总结等内容。

7.3 试验完成情况评审

在试验结束后，根据需要对试验完成情况进行评审，评价试验的结果是否符合合同、产品规范及试验大纲的要求。评审应主要考虑以下内容：

- a) 试验记录、归零报告、试验报告、试验总结报告（若有）的完整性；
- b) 试验结果分析的合理性；
- c) 试验与大纲的偏离；
- d) 试验过程中故障处理方式的正确性及有效性；
- e) 遗留问题的风险分析。

