

# 航空装备实验室温度环境试验剪裁探讨

吴相甫

(中国飞机强度研究所, 西安 710065)

**摘要:** 阐述了温度环境试验的重要性, 基于 GJB 150A 对装备寿命期内实验室环境试验的剪裁要求, 分析了 GJB 150A 中关于温度试验方法的剪裁内容、典型温度试验程序和剪裁方法。提出了航空装备依据 GJB 150A 开展实验室温度环境试验的剪裁方法。基于 GJB 150A 温度试验方法, 经剪裁得到了航空装备进行实验室温度环境试验的考核项目、试验顺序和试验条件。剪裁结果可供航空装备开展实验室温度环境试验参考。

**关键词:** 温度试验方法; 实验室环境试验; GJB 150A; 剪裁

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2018.01.016

**中图分类号:** V241.06      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2018)01-0074-06

## Tailoring of Laboratory Temperature Environment Test for Aviation Equipment

WU Xiang-fu

(Aircraft Strength Research Institute, AVIC, Xi'an 710065, China)

**ABSTRACT:** The importance of temperature test was expounded. The tailoring requirements on laboratory environment test in the whole equipment life period were presented based on the GJB 150A. Tailoring content, classical temperature test procedures and tailoring methods were analyzed according to GJB150A. The test programs, test sequence and test conditions of laboratory temperature test for aviation equipment are gained by tailoring based on GJB 150A temperature test method. The tailoring results can be used for reference in laboratory temperature environment test of aviation equipment.

**KEY WORDS:** temperature test methods; laboratory environment test; GJB 150A; tailoring

气候环境适应性是航空装备的重要质量特性指标之一, 是影响其作战效能和战斗力的重要因素, 在装备研制、装备生产和装备使用的各个阶段需经过环境试验考核, 以确认产品的环境适应性是否满足设计要求。航空装备实验室环境试验通常让试验件经受室内模拟气候环境应力的作用, 获取航空装备耐受气候环境极限能力的信息, 并根据研制要求、失效判据及试验数据对其气候环境适应性进行综合评价, 确定其气候环境适应性能力满足要求的程度。温度是最基本的环境因素, 航空装备在其装备寿命期内贮存、运输和使用状态下会经受不同的温度环境, 必须保证在这些温度环境下正常工作而不会发生损坏。在我国军用设备研制中, 涉及具体环境试验项目的开展主要依据

GJB 150A—2009《军用装备实验室环境试验方法》<sup>[1]</sup>。GJB 150A 中与温度有关的温度试验方法有高温试验方法、低温试验方法及温度冲击试验方法, 每个温度试验方法都设置了多个试验程序并均有对应的试验条件。由于 GJB 150A 是 MIL-STD-810F《环境工程考虑和实验室试验》第 I 部分《环境工程工作指南》中第 5 章节《通用实验室试验方法指南》和 MIL-STD-810F 中第 II 部分《实验室试验》的等效标准, 是一个剪裁标准, 所以这些温度试验方法不能直接使用<sup>[2]</sup>。因此, 温度环境试验需根据航空装备的环境适应性要求、自身特性、部署区域、设备寿命期阶段、使用方式等进行综合的权衡和分析, 以确定航空装备在其寿命期各个阶段的温度环境试验要求, 包括温度

收稿日期: 2017-07-14; 修订日期: 2017-08-28

作者简介: 吴相甫 (1987—), 男, 陕西西安人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为飞机气候环境适应性试验测控技术。

试验考核项目、温度试验程序、温度试验顺序、温度试验条件等方面的剪裁,以制定合理科学的温度环境试验方法,对于发现航空装备的设计及工艺缺陷有着重要的意义。

## 1 实验室温度环境试验剪裁分析

### 1.1 实验室温度试验

航空装备在贮存、运输和使用中时刻经受着温度本身及温度与其他环境的综合作用,极端温度会使航空装备出现各种形式的故障,对航空装备的性能带来极大的影响。

按照 GJB 4239《装备环境工程通用要求》中的规定,环境试验包括实验室环境试验、自然环境试验和使用环境试验<sup>[3]</sup>。实验室试验与外场自然气候环境试验相比,实验室试验不受季节、地区和时间的限制,周期短而且成本低,容易得到重复的环境试验结果。外场自然气候环境试验将产品长时间暴露在某种自

然的环境中,以确定产品性能受该自然环境因素的影响。目前航空装备实验室模拟气候环境试验和外场自然气候环境试验相辅相成,是一种互补关系,而使用气候环境试验是在复杂气象条件下的飞行试验中进行的。

实验室温度环境试验供用户对航空装备在拟定温度环境条件下的性能和适应性作出分析,获取有关数据,以评价温度因素对航空装备性能的影响。更能真实地反映航空装备在实际使用过程中对高低温环境变化的适应性,暴露产品的缺陷,是新机研制、样机试验、产品合格鉴定试验全过程必不可少的重要试验手段。

为了保证航空装备满足装备设计合同及协议中规定的温度要求,确保装备在实际使用时的耐温度环境的能力,提高航空装备的温度环境适应水平,在装备的研制、生产及使用的各个阶段均应安排温度试验,各个阶段安排的实验室温度试验见表 1,贯穿于航空装备研制和生产的全过程<sup>[4]</sup>。

表 1 实验室温度环境试验种类

名称	试验时机	试验目的
产品环境适应性研制试验	研制早期	查找工艺和设计缺陷
产品的环境响应特性调查试验	研制中/后期	确定温度物理响应特性和影响产品关键性能的温度极限值
安全性环境试验	首飞之前	考核温度环境因素对飞行器首飞安全的影响
产品的环境鉴定试验	设计及工艺定型阶段	验证产品的环境适应性
产品的环境验收及例行试验	批生产阶段	检验产品的工艺和质量控制过程在批生产过程中的稳定性,以验证产品的环境适应性

### 1.2 剪裁目的

在我国军用设备研制中,GJB 150 与 GJB 150A 是一直引用的环境试验标准。GJB 150 是可直接引用的标准,自颁布实施以来,其在军工产品环境技术要求、军工产品设计定型的环境试验大纲要求和研制总结报告中被经常引用,引用者不用去分析军工产品自身特性和未来面临的寿命期环境,不必对引用的内容解释<sup>[5]</sup>。这种直接去引用通用环境标准内容的做法,会带来环境试验条件选取不合适的问题,从而导致过试验或欠试验,会对环境试验的初衷和结果造成影响。

GJB 150A 是 2009 年颁布实施的新标准,是 MIL-STD-810F 第 I 部分即《环境工程工作指南》中第 5 章节《通用实验室试验方法指南》和 MIL-STD-810F 中第 II 部分《实验室试验》的等效标准,它是一个剪裁标准。我国在 GJB 6117—2007《装备环境工程术语》中对实验室环境试验剪裁的解释是:“对装备寿命期各阶段实验室环境试验工作及内容等进行剪裁,是环境工程剪裁的组成部分”<sup>[6]</sup>。剪裁标准要求从环境工程设计的思路出发,强调环境试验要求和试验方法要根据设备在其整个使用寿命期内所经历的环境

来确定,这样可避免装备环境适应性设计中的欠设计或过设计问题以及环境试验时欠试验和过试验的现象,从而保证装备在其整个寿命期内所经历的环境应力作用下能够可靠地工作。

### 1.3 GJB 150A 温度试验剪裁要求

GJB 150A 在和温度有关的环境试验方法的剪裁指南中强调,应确定装备寿命期内高温环境、低温环境及温度冲击环境出现的阶段,根据装备在各温度环境中的环境效应,通过剪裁确定是否选择温度试验标准中的方法及其中的试验程序,并确定温度环境试验条件。在进行航空装备实验室温度环境试验时,温度试验程序及试验条件的剪裁需根据航空装备的环境适应性要求、自身特性、部署区域、设备寿命期阶段、使用方式等进行综合的权衡和分析,以确定航空装备在其寿命期各个阶段的温度环境试验要求,包括温度试验考核项目、温度试验程序、温度试验顺序、温度试验条件等方面的剪裁,以制定合理科学的温度环境试验方法。

GJB 150A 标准中涉及温度环境试验剪裁的内容见表 2。

表2 GJB 150A 中温度环境试验的剪裁要求

试验项目	章节号	选择依据	试验程序	试验条件
高温试验	GJB 150.3A 第4节	根据高温环境对装备的影响程度确定是否进行本试验	贮存和工作两个试验程序, 试验前应确定采用的试验程序	选定相应程序后, 选定该程序的试验条件和试验技术
低温试验	GJB 150.4A 第4节	根据低温环境效应确定是否需要进行本试验	贮存、工作和拆装三个试验程序, 确定采用的试验程序、程序组合或实施各程序顺序	选定相应程序后, 确定该程序的试验条件和试验技术
温度冲击试验	GJB 150.5A 第4节	根据温度冲击环境效应确定是否需要进行本试验	包括恒定极值温度冲击和基于高温循环的冲击, 根据预期暴露温度、装备的技术状态、环境应力筛选要求选择	选定相应程序后, 确定该程序的试验条件和试验技术; 若有实测数据, 则应使用实测数据

## 2 典型温度试验程序

在 GJB 150A 《军用装备实验室环境试验方法》里与温度相关的试验方法有高温试验、低温试验和温度冲击试验共 3 项。

高温试验方法包括高温贮存试验和高温工作试验两个试验项目<sup>[7]</sup>。高温贮存试验有两个试验程序, 即高温恒温贮存试验和高温日循环贮存试验, 前者模拟装备在露天太阳辐射下或人为热源附件贮存遇到的极端温度环境, 后者模拟装备在露天太阳照射下诱发的日循环环境, 两者都用于考核装备在高温贮存环境下的耐受能力。高温工作试验有两个试验程序, 即高温恒温工作试验程序和高温日循环工作试验程序, 前者模拟装备工作中遇到的高温环境, 考核装备对高温工作环境的耐受能力; 后者模拟装备在户外太阳照射下工作时遇到的日循环温度环境, 考核装备耐受日

循环高温作用的能力。

低温试验方法包括低温贮存试验和低温工作试验两个试验项目<sup>[8]</sup>。低温贮存试验项目是低温恒温贮存试验, 模拟装备在户外极端低温下贮存遇到的环境, 考核装备在低温贮存环境下的耐受能力。低温工作试验项目是低温恒温工作试验, 模拟武器装备工作时遇到的极端低温工作环境, 考核武器装备在极端低温环境下的工作能力。

温度冲击试验方法包括恒温冲击试验和基于高温日循环的温度冲击试验两个试验项目<sup>[9]</sup>。前者模拟装备工作或搬运遇到的极端高低温环境, 考核装备经受极端温度变化的能力; 后者模拟装备户外贮存遇到极端循环高温和遇到的极端低温之间的变化环境, 考核装备经受地面户外暴露和工作遇到的极端高低温变化的能力。

GJB 150A 《军用装备实验室环境试验方法》中的典型温度试验程序见表 3。

表3 GJB 150A 的典型温度试验程序

类别	试验程序	试验目的	模拟环境	对应标准	
高温 试验	贮存	恒温贮存	考核装备对高温贮存环境的耐受能力	装备在露天太阳辐射下或人为热源附件贮存遇到的极端温度环境 装备在露天太阳照射下诱发的日循环环境 装备工作中遇到的高温环境 装备户外工作时太阳照射下遇到的日循环温度环境	GJB 150.3A
		日循环贮存	考核装备对高温工作环境的耐受能力		
	工作	恒温工作	考核装备耐受日循环高温作用的能力		
		日循环工作			
低温 试验	贮存	恒温贮存	考核装备对低温贮存环境的耐受能力	装备在户外极端低温下贮存遇到的环境 装备在户外工作时遇到的低温工作环境	GJB 150.4A
	工作	恒温工作	考核装备耐受低温工作环境的能力		
温度 冲击 试验	恒温冲击	考核装备经受极端温度变化的能力	考核装备经受地面户外暴露和工作遇到的极端高低温变化的能力	装备工作或搬运遇到的极端高低温环境 装备户外贮存遇到极端循环高温和遇到的极端低温之间的变化环境	GJB 150.5A
		基于高温日循环的温度冲击			

### 3 温度试验剪裁

温度试验剪裁是指将各单个高低温贮存、工作、温度冲击试验连续合理地安排成一个试验项目,包括试验项目剪裁、试验顺序剪裁和试验条件剪裁。

#### 3.1 试验项目

在 GJB 150A《军用装备实验室环境试验方法》中,温度试验项目包括高温贮存及工作试验、低温贮存及工作试验和温度冲击试验。航空装备在选取温度试验项目时,应根据航空装备在寿命期内经历的温度环境及其对装备影响程度的分析来确定。

#### 3.2 试验顺序

温度环境试验结果的可信度不仅与温度试验方法和温度的严酷等级密切相关,还与温度试验项目的实施顺序有关。MIL-STD-810F 中指出:试验顺序要按照被试件的特性、被试件预期使用情况、项目资源和预计的单项环境试验的综合效应等因素确定<sup>[10]</sup>。在理想情况下,环境试验顺序的安排应符合以下原则:按照设备寿命期内经历的环境条件出现的先后顺序;后一项环境试验能暴露或者加强前一项环境试验对设备的作用;前一项环境试验不影响后一项环境试验的效果。按照以上原则,航空装备的温度环境试验顺序可作以下安排。

1) 低温试验:首先进行被试件的低温贮存试验程序,再进行低温工作试验程序;

2) 高温试验:首先进行被试件的高温贮存试验程序,再进行高温工作试验程序;

3) 温度冲击试验:完成高温试验后进行。

#### 3.3 试验条件

##### 3.3.1 试验温度

1) 高低温贮存试验。高低温贮存试验温度取决于航空装备未来寿命期贮存(停放)的场合,若航空装备贮存于野外露天,则其经受的贮存环境属于自然环境。自然环境中,太阳辐射诱发的高温比自然界环境空气温度高 15~20℃,致冷辐射造成热缺失引起的低温比自然界环境空气温度低 3~5℃。根据确定的设计风险从 MIL-HDBK-310《军用产品研制用的全球气候数据》中选取,美国政府文件 AR 870-38《极端气候条件下装备的研究、研制、试验与评价》中除严冷温度推荐 20%出现频率、降雨推荐 0.5%出现频率外,其余气候因素均考虑推荐 1%出现频率。GJB 150.3A/4A 中的贮存温度均是按照这一出现频率从世界最热和最冷地区的数值数据中选取的。当研制航空装备任务书限定了未来的应用地域,而不是全球使

用,则可从 MIL-HDBK-310 中选择相应气候区中按选定的出现频率查找出相应的极端温度,作为贮存试验考核温度值。

GJB 1172.2《军用设备气候极值》记录的我国的高温工作极值和承受极值分别为 45.5℃和 49.5℃;低温工作极值在 1%风险率时为-48.8℃,低温工作极值在 5%风险率时为-46.1℃,低温工作极值在 10%风险率时为-44.1℃,低温工作极值在 20%风险率时为-41.3℃。根据我国对飞机在机场停放时对温度的实际测量结果,热天机内的实测温度要比外界自然环境的温度高 15~20℃,冷天机内的实测温度要比外界自然环境温度低 3~5℃,所以低温贮存试验的温度值推荐选择-55℃,高温贮存试验的温度值推荐选择 70℃<sup>[11]</sup>。需要指出的是,70℃的高温贮存温度即为高温恒温贮存试验温度,对应于 GJB 150.3A 内考核的装备在露天太阳辐射下或人为热源附件贮存遇到的极端温度环境。高温日循环贮存试验的温度变化循环数据则可参考 GJB 150.3A 中的《高温日循环》及《高温日循环温度变化范围一览表》的高温条件。

根据上述分析,航空装备高低温贮存试验推荐试验温度见表 4。

表 4 航空装备高低温贮存环境试验推荐温度

试验程序	试验温度
高温恒温贮存试验	70℃
高温日循环贮存试验	参考GJB 150.3A中的《高温日循环》及《高温日循环温度变化范围一览表》的高温条件
低温恒温贮存试验	-55℃

2) 高低温工作试验。根据我国航空装备部署的区域,高温恒温工作试验程序的温度值推荐选择 GJB 150.3A《高温日循环》中的基本热气候类型或热气候类型的最高诱发条件温度值,基本热气候类型得最高诱发条件温度值是 63℃,热气候类型最高诱发条件温度为 71℃。对于高温日循环工作试验,根据航空装备的部署区域,日循环工作温度推荐选择 GJB 150.3A《高温日循环》中基本热气候类型或热气候类型的典型高温日循环条件。对于低温恒温工作试验,根据我国航空装备的部署区域,推荐选择 GJB 150.4A《低温极值出现概率》里的中国的低温极值,推荐选择 20%出现概率的低温工作极值-41.3℃。

根据上述分析,航空装备高低温工作试验推荐试验温度见表 5。

3) 温度冲击试验。冲击温度要根据具体情况考虑,推荐选择 GJB 150.5A 中第一个程序《恒定极值

表5 航空装备高低温工作试验推荐试验温度

试验程序	推荐试验温度
高温恒温 工作试验	63 ℃ (基本热气候类型) 71 ℃ (热气候类型)
高温日循环 工作试验	GJB 150.3A《高温日循环》中的基本热气候类型或者热气候类型的典型高温日循环条件
低温恒温 工作试验	-41.3 ℃ (20%出现概率)

温度冲击》，冲击温度推荐选择 GJB 150.3A/4A 中确定的高低温贮存温度作为上下限温度极值。航空装备温度冲击试验推荐上限温度极值为 70 ℃，下限温度极值为 -55 ℃。

### 3.3.2 试验时间

高温试验方法包括高温贮存试验与高温工作试验两个试验程序。对于高温恒温贮存试验程序，将航空装备产品暴露在高温恒温的环境中并使其温度达到稳定后，再继续保持该环境温度值至少 2 h，以确保航空装备内部元件的温度真正达到稳定，暴露结束后对航空装备进行后续的性能检测程序。对于高温日循环贮存试验，航空装备暴露于贮存的日循环温度条件下，暴露持续时间至少为 7 个循环（若采用 24 h 循环，则持续时间为 168 h），暴露结束后对进行后续的性能检测程序。对于高温恒温工作试验程序，将

航空装备产品暴露在高温恒温的环境中并使其温度达到稳定后，维持该环境温度至少 2 h，然后使其工作，并使环境温度重新稳定，再进行后续的性能检测程序。对于高温日循环工作试验，航空装备至少暴露 3 个循环（若采用 24 h 循环，则持续时间为 72 h），在暴露循环的最高温度响应时段使其工作，并完成全部工作性能检测程序。

低温试验方法包括低温贮存试验和低温工作试验两个试验程序。对于低温贮存试验程序，航空装备暴露于低温贮存温度环境并达到温度稳定后，贮存时间至少 4 h，再对其进行后续的性能检测程序。对于低温工作试验程序，将航空装备暴露于低温工作试验的温度环境中并使其温度达到稳定后，维持该低温工作温度环境至少 2 h，再进行后续的性能检测程序。

温度冲击试验有恒定极值温度冲击程序和基于高温循环的冲击程序，推荐采用恒定极值温度冲击程序，航空装备暴露于温度极值的持续时间可选择航空装备达到表面温度稳定需要的时间或者至少使其表面温度达到一致所需的时间，应通过实际测量确定，也可选择实际的工作时间。另外，航空装备预计较频繁地暴露于温度冲击环境，冲击次数不小于 3 次，温度转换时间不大于 1 min。

根据上述分析，航空装备温度试验推荐持续时间见表 6。

表6 航空装备温度试验推荐试验时间

类别	试验程序	持续时间	
高温 试验	贮存	恒温贮存 暴露在高温恒温的贮存温度环境中并使被试件达到温度稳定后，继续保持该环境温度值至少 2 h	
	日循环贮存	暴露于贮存的日循环温度条件下，暴露持续时间至少为 7 个循环（若采用 24 h 循环，则持续时间为 168 h）	
	工作	恒温工作	在高温恒温工作试验的温度环境中达到温度稳定后，维持该环境温度至少 2 h
		日循环工作	至少暴露 3 个循环（若采用 24 h 循环，则持续时间为 72 h）
低温 试验	贮存	恒温贮存 暴露于低温贮存温度环境并达到温度稳定后，贮存时间至少 4 h	
	工作	恒温工作 被试件在低温工作试验的温度环境中达到温度稳定后，维持该低温工作温度环境至少 2 h	
温度 冲击 试验	恒定极值温度冲击	暴露于温度极值的持续时间可选择航空装备达到表面温度稳定需要的时间或者至少使其表面温度达到一致所需的时间，应通过实际测量确定，也可选择实际的工作时间。冲击次数不小于 3 次，温度转换时间不大于 1 min	

### 3.4 剪裁示例

以某型号军用飞机为例，从其装载、运输、使用以及贮存的环境条件出发，并依据其飞行的环境条件任务剖面，确定该飞机寿命期内遇到的所有温度环境类型，建议需做的温度环境试验项目为高温

贮存及工作试验、低温贮存及工作试验和温度冲击试验。温度环境试验顺序为：低温恒温贮存试验、低温恒温工作试验、高温恒温贮存试验、高温日循环贮存试验、高温恒温工作试验、高温日循环工作试验、温度冲击试验。各温度环境试验项目的试验条件见表 7。

表 7 某型飞机温度环境试验条件

类别	试验程序	试验温度	试验时间
低温 试验	低温恒温贮存试验	-55 °C	暴露于-55 °C 达到温度稳定后, 贮存至少 4 h
	低温恒温工作试验	-42 °C	暴露于-42 °C 达到温度稳定后, 维持该低温工作温度环境至少 2h
高温 试验	高温恒温贮存试验	70 °C	暴露于 70 °C 达到温度稳定后, 贮存至少 2 h
	高温日循环贮存试验	GJB 150.3A 中的《高温日循环》及《高温日循环温度变化范围一览表》的高温条件	7 个循环, 采用 24 h 循环, 持续时间为 168 h
	高温恒温工作试验	71 °C (热气候类型)	暴露于 71 °C 达到温度稳定后, 维持该低温工作温度环境至少 2 h
	高温日循环工作试验	GJB 150.3A《高温日循环》中的热气候类型的典型高温日循环条件	暴露 3 个循环, 采用 24 h 循环, 持续时间为 72 h
温度 冲击 试验	恒定极值温度冲击	上限温度极值: 70 °C 下限温度极值: -55 °C	上限及下限极值温度的持续时间为飞机表面达到温度稳定的时间; 冲击 3 次, 温度转换时间 30 s

## 4 结论

航空装备实验室温度环境试验是通过在实验室模拟各种环境温度, 以考核航空装备在温度环境应力下储存和使用的适应性。GJB 150A 中的温度试验项目包括高温试验、低温试验和温度冲击试验, 但 GJB 150A 是一个剪裁标准, 需充分考虑装备寿命期内遇到的温度环境作用的影响, 选择合理的温度试验方法、试验顺序及试验条件, 以适应航空装备在全寿命期内经受的温度环境条件下可靠地工作。通过剪裁标准中的温度试验内容, 可以解决航空装备温度环境试验的过试验或欠试验问题, 避免影响研制进度或造成资源浪费。航空装备实验室温度环境试验剪裁过程不仅要考虑航空装备寿命期内遇到的温度环境、航空装备特性和受环境影响程度, 还应根据航空装备产品的研制合同或者协议中规定的温度环境适应性设计要求来剪裁环境试验方法、试验程序和试验条件。文中对温度环境试验方法的剪裁, 可应用于航空装备开展实验室温度环境试验。

## 参考文献:

- [1] 安海军, 臧兵. 航空军工产品实验室环境鉴定试验分析[J]. 机械工程师, 2015(5): 256-257.
- [2] 祝耀昌, 魏莱, 程丛高. GJB 150/150A、GJB 4239 和 MIL-STD-810F/G 的特性和相互关系分析[J]. 航天器环境工程, 2012, 29(3): 243-249.
- [3] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].
- [4] 蔡良续, 龙德中, 宋小燕. 温度环境试验及其标准综述 (一) 温度对装备的影响及温度试验的重要性[J]. 环境技术, 2014(8): 93-96.
- [5] 祝耀昌, 李明. 谈谈环境工程剪裁和环境试验剪裁[J]. 航天器环境工程, 2012, 29(5): 479-484.
- [6] GJB 6117—2007, 装备环境工程术语[S].
- [7] GJB 150A.3A—2009, 军用装备实验室环境试验方法第 3 部分: 高温试验[S].
- [8] GJB 150A.4A—2009, 军用装备实验室环境试验方法第 4 部分: 低温试验[S].
- [9] GJB 150A.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[S].
- [10] MIL-STD-810F, 环境工程考虑和实验室试验[S].
- [11] 邹小玲. 直升机机载设备环境试验剪裁探讨[J]. 直升机技术, 2013(4): 24-28.