

机载武器及其双配套设备可靠性鉴定 试验方案的分析

孟玥然, 王欣, 祝耀昌

(中国航空综合技术研究所, 北京 100028)

摘要: 通过分析机载武器的使用特点和情况, 并结合实验室开展机载武器可靠性鉴定试验的已有经验, 对该类装备的可靠性鉴定试验的方案进行了分析和讨论, 对试验样件在充足或不足的条件下进行试验的各种试验方案进行了深入分析。指出了各种方案的优缺点, 对比了各种试验方案的特点。最后给出了机载武器可靠性鉴定统计试验方案的选取原则。

关键词: 机载武器, 双配套, 可靠性鉴定试验方案, MTBF

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.07.018

中图分类号: V216.5⁺7 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2017)07-0087-05

Plan for Reliability Qualification Testing of Aircraft Weapon and its Dual-Supplier Equipment

MENG Yue-ran, WANG Xin, ZHU Yao-chang

(AVIC China Aero-Polytechnology Establishment, Beijing 100028, China)

ABSTRACT: This paper analyzed and discussed plans for reliability qualification testing of aircraft weapon and had in-depth analysis on plans for carrying out test in sufficient or insufficient samples by analyzing using features and situations of aircraft weapon in combination with reliability qualification testing carried in the laboratory. It pointed out advantages and disadvantages of testing plans and compared their characteristics. Finally, it provided the principle of selecting reliability qualification testing plan for aircraft weapon.

KEY WORDS: aircraft weapon; dual supplier; plan for reliability qualification testing; mean time between failure

1 机载武器双配套产品的考核

“双配套”又称“双供方”, 在机载武器的一些配套设备中, 如导引头、制导计算机、战斗部等, 可能会采用两个供方研制生产。这样, 供方之间就能够形成有效的竞争, 不但能够确保装备供货充足, 还能够使得装备的技术水平得到保障。

目前, 研制要求中均对装备的可靠性指标提出明确要求, 如产品的平均故障间隔时间(MTBF)或任务可靠性度等。明确的可靠性指标就必须在装备的鉴

定试验中验证回答^[1-3]。由于受到研制经费的限制, 一般仅在鉴定过程中安排 2~3 枚导弹样件进行环境和可靠性鉴定试验, 因此对于装配双配套设备的机载武器进行鉴定工作, 制定一套合理可行的试验方案就显得非常重要。

2 机载武器的挂飞可靠性要求及其验证方法

以空空导弹为例, 其经历的寿命周期一般包括: 生

收稿日期: 2017-04-25; 修订日期: 2017-05-26

作者简介: 孟玥然(1985—), 男, 工程师, 主要研究方向为环境可靠性试验技术。

通讯作者: 王欣(1964—), 女, 研究员, 主要研究方向为环境可靠性试验技术。

产、运输、贮存、挂飞、自由飞、命中目标等环节^[2-5]。在导弹的寿命周期中，贮存、挂飞和自由飞是比较重要

的三个阶段。在导弹寿命周期的每个阶段，通常都有描述这一阶段装备可靠性水平的方式和验证方法，见表1。

表1 导弹寿命剖面的可靠性表述

寿命阶段	生产	运输	贮存	战备值班	挂飞	自由飞
可靠性表述	—		贮存可靠性		挂飞可靠性	自由飞可靠度
验证方式	—		根据实际数据进行计算、评估或采用类似产品的数据		挂飞可靠性鉴定试验	外场靶试

导弹在运输、贮存、战备值班阶段，其可靠性水平是通过一段贮存时间内导弹的失效、故障数量对贮存可靠性(度)进行计算评估或采用类似产品的数据。导弹在挂飞阶段的可靠性水平则是通过挂飞可靠性试验进行实验室验证。自由飞可靠度则多是通过导弹靶试数据对自由飞任务可靠性进行计算。文中重点是对机载武器及其双配套设备的挂飞可靠性鉴定试验的方案进行论述，因此下面主要关注于机载武器的挂飞可靠性要求和验证方法。

机载武器在随机挂飞阶段的可靠性水平是通过挂飞 MTBF(h)进行表述的。同时还规定了导弹的挂飞寿命(起落架次,平均每次挂飞时间)。如规定某型导弹应能进行40个架次的挂飞任务,每次挂飞时间约为8h。通常,导弹在地面检测、挂飞阶段都需要通电进行测试,挂飞阶段也应对必要的设备进行通电测试,一般机载武器对通电寿命还要提出要求,如规定其通电寿命不小于400h。因此在对该型导弹进行试验方案的设计时,必须保证单枚样件的试验时间不能超出挂飞寿命(320h),设备累计通电时间不能超出通电寿命(400h)。

导弹在挂飞过程中会经历温度、湿度、振动、噪声等综合应力的严酷考验^[4],现在国内的实验室在一定条件下可以模拟导弹在挂飞过程中经历的温度、湿度、振动等综合应力环境条件,所以导弹的挂飞可靠性指标就必须通过实验室鉴定试验的方式进行验证。

3 机载武器双配套设备鉴定工作的试验方案

机载武器的一些配套设备中,采用的是双供方同时研制生产的配装方式,双配套设备的功能性能应相同,对外的输入输出关系一致,具有可互换性,同时应满足机载武器对双配套设备提出的可靠性指标要求。这样,机载武器无论装配哪一型双配套设备,从设计上都不会对整体可靠性水平产生影响。在装备的可靠性鉴定试验时就应当充分考虑机载武器的各种配套状态,并对其可靠性水平加以验证。从传统理论和经验上,单枚样件还受挂飞寿命和通电寿命的限制,因此,需要至少安排3个样件作为被试品(至少

2枚作为试验样件,1枚作为备件)。由于种种条件的限制,有时仅能安排1枚或2枚样件进行可靠性鉴定试验,这也正是我们面临的难题。

3.1 试验样件充足

当试验样件、试验经费充足时,可以采用2枚整弹作为试验样件、1枚整弹作为备件,按照相关国军标中规定的统计试验方案进行试验。采用这种“多弹试验”的方案进行试验,每套双配套设备可随一枚整弹进行试验,双配套设备的可靠性指标随整弹回答。在试验经费充足的情况下,可以采用允许多故障数的统计试验方案进行试验,试验所允许的故障数可根据导弹系统中含有的重要LRU数量等因素确定。采用这种允许多故障数的试验方案,由于试验时间充足、暴露故障充分,评估出的MTBF水平接近产品的可靠性真值^[6]。这样做的缺点也是显而易见的,因此可以考虑采用短时高风险定时截尾的试验方案对整弹及双配套设备进行考核。需要指出的是,这种方法其实对双配套以外的其他设备加严了考核。

3.2 试验样件不足

当试验样件不充足时,机载武器及其双配套设备可靠性鉴定试验又可以分为以下几种方案。

1) 双配套设备分别单独开展可靠性鉴定试验。采用这种方式进行可靠性鉴定试验,在整弹进行试验前就要确定双配套设备具有了相同的可靠性水平。无论哪一型双配套设备随整弹进行试验,都不会对整弹的可靠性指标产生影响,因此这种方法最为典型。导弹在实际的鉴定工作过程中,往往不采用这种做法,主要的原因是:单独分别进行双配套设备的可靠性鉴定试验,耗时较多,必须在整弹试验前对双配套设备进行可靠性验证,试验过程中被试品可能发生责任故障,这就要对被试品进行故障归零工作。特别是对于可靠性指标较高的双配套设备,就不适于使用这种方案。在完成双配套设备的可靠性鉴定试验后,任意抽取一型双配套设备随弹进行试验。随弹试验的双配套设备若在整弹试验中出现责任故障,除了进行必要的产品故障分析和归零工作外,另一型未随整弹试验的产品应进行举一反三或故障归零工作。导弹的定型工

作时间紧张有限,采用以上做法会耗费大量时间和费用,因此较少采用这种方法。

较为可行的方案是,对双配套设备同时开展可靠性加速试验,利用加严试验应力方法修正可靠性试验剖面,从而缩短试验时间,试验后评估出被试品的挂飞可靠性指标满足导弹分配的可靠性指标要求。此时,认为被考核的双配套设备的可靠性水平一致,其中任何一个配套随整弹进行试验的表现代表了另一个配套。然后,随机抽取一型双配套设备随一枚整弹

进行可靠性鉴定试验,若整弹通过了可靠性鉴定试验,则另外一个配套也满足了要求。如果整弹没通过可靠性鉴定试验,则出现两种情况:一是单配套产品发生责任故障,根据有关规定开展整弹的故障归零工作后^[7-8],按照统计方案的要求安排下一步工作;二是双配套设备发生责任故障,应根据有关规定开展该型双配套设备的归零工作,另一个双配套设备针对同样的故障模式开展举一反三的分析工作,按照统计方案的要求安排下一步工作。具体流程如图 1 所示。

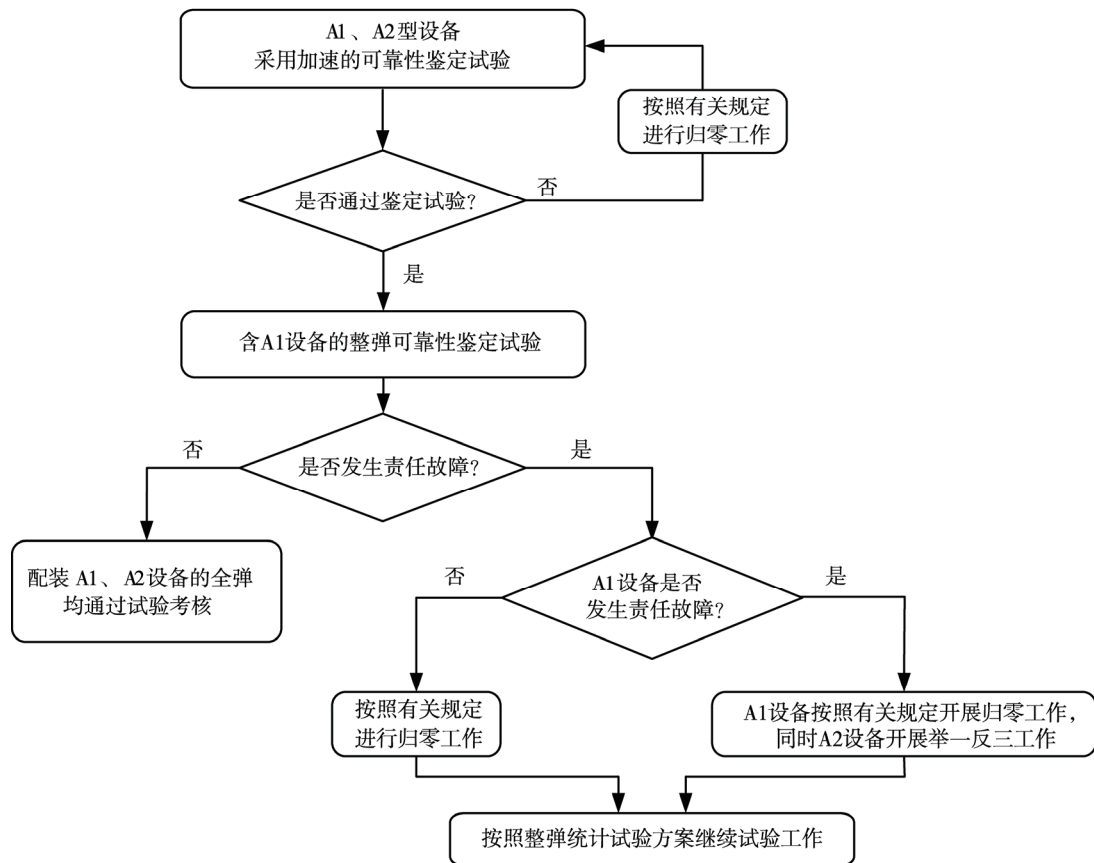


图 1 双配套设备分别鉴定的试验流程

需要指出的是,目前还没有可以直接引用的加速试验方法或标准。因此使用加速方法对双配套设备进行试验时,方案就首先需要通过评审。

2) 双配套设备一型随整弹试验,另一型单独进行试验。这种试验方案的前提是,假设被考核的双配套设备具有相同的可靠性指标,那么从两型双配套设备中任意选择一型随全弹进行试验,另一型单独开展试验。这样,单独进行试验的一型双配套设备可以在整弹鉴定试验的前、后安排该型产品的鉴定试验。采用这种试验方案也有一些问题,比如随全弹考核的双配套设备,可能无法像单独进行试验的产品那样进行全方位的功能、性能检测,而且整弹进行可靠性鉴定试验的检测方法也只能最大程度上模拟导弹在挂飞阶段的工作或任务特点,所以这就会对随弹进行试验

的双配套设备客观上放松了考核。另一方面,对于单独进行试验的产品,由于没有将产品交联到导弹系统中,所以无法验证产品与系统的交联关系是否可靠。承试方在对整弹进行鉴定试验方案的设计时,必须充分考虑双配套设备的检测方法,尽量使随弹试验和单独试验的双配套设备检测一致,这样存在着一定的难度。双配套设备也可以随所在的上一级系统进行试验,系统通过鉴定试验可回答单机可靠性指标。

3) 单机、整弹结合的试验方案。采用这种方式进行试验,一型双配套设备可随整弹进行一定时间的可靠性鉴定试验后从整弹中拆出,然后更换另一型双配套设备继续进行试验,直至整弹试验和两型双配套设备的试验时间满足试验方案的要求。需要注意的是,采用这种方法进行试验从严格意义上讲是不符合

统计学原理的,因为鉴定试验的样本应该是始终如一的本体。试验过程中对整弹更换设备,实际上是改变了试验本体的技术状态,从而改变了样本本体。工程上,可以认为这种改变非常微小,对试验结果没有影响,因此有些导弹型号的可靠性鉴定试验方案采用这种方法进行。

4) 研、定结合的试验方案。采用研、定结合的试验方案,最大的特点在于利用产品研制阶段的试验数据评价定型产品的可靠性水平。在导弹的研制阶段,设计较为成熟的一型双配套设备随整弹按照可靠性鉴定试验的要求进行可靠性研制试验。这项试验可以安排在 SRU, LRU 的可靠性强化试验、可靠性加速试验之后。试验的条件至少与鉴定时的试验条件相

当,且试验数据统计结果可以给出双配套设备满足整弹可靠性鉴定时要求的结论。如果此双配套设备状态固化,则在整弹定型阶段,对另一型双配套的整弹开展可靠性鉴定试验工作,同时分析评价,给出第一种双配套设备满足整弹的挂飞可靠性要求的结论。

以上分析了几种可行的机载武器双配套设备挂飞可靠性鉴定试验方案的利弊,在实际工程应用中,还需要根据不同的背景、不同基础的装备设计出有针对性的试验方案。以上方案在各自不同的限制条件下,都有实际应用的价值,但也都存在一些问题。因此在选取试验方案时,还必须根据装备的实际情况进行细致分析,选择合理的试验方案。将以上试验方案分析总结见表 2。

表 2 机载武器及其双配套设备进行可靠性鉴定试验的方案

子样数量	试验方案	试验特点	优缺点	故障纠正
多样本(长试验时间)	至少2枚试验样件,双配套设备随整弹考核。采用标准的统计试验方案	试验评估出的MTBF水平接近产品的可靠性真值	试验成本巨大、试验时间长	
多样本(短试验时间)	采用短时长高风险试验方案	采用短时长高风险试验方案	试验成本较大、导弹试验时间不充分,不易充分暴露导弹及双配套设备的缺陷,对双配套以外的其他设备加严了考核	
	双配套设备分别单独开展可靠性鉴定试验	整弹试验前应完成双配套设备鉴定试验,整弹试验任意抽取一型双配套设备随整弹进行试验 对双配套设备开展可靠性加速试验,确认双配套设备具有相同的可靠性水平后,在任意抽取一型双配套设备随整弹进行试验	试验时间相对较长,双配套设备鉴定工作(包括故障归零工作)应在整弹前完成。目前还没有可以直接引用的可靠性加速试验方法	试验过程中任意一型双配套设备发生责任故障时,除对自身进行故障归零外,还应应对另一型双配套设备进行与故障相关的举一反三工作。保证双配套设备可靠性水平的一致性
小子样(1~2枚样件)	双配套设备一型随整弹试验,一型单独进行试验	假设被考核的双配套设备具有相同的可靠性指标,整弹、双配套设备的鉴定试验互不干扰	试验时间短、效率较高。单独开展试验的产品不能考核与系统的交联关系。随弹考核的产品检测考核不充分	
	单机、整弹结合试验	每型双配套设备随整弹进行一段时间后单独进行试验	可能由于更换双配套设备造成对试验母体一致性的影响。建议采用2枚整弹进行试验	
	研、定结合的试验方案	研制阶段使用一型双配套设备的试验数据进行评估;鉴定阶段使用另一型双配套设备进行试验	研制阶段的试验条件比鉴定试验条件严格,采用研制阶采用的数据源较多。导弹使用方同意采用研制阶段的数据进行鉴定	

4 机载武器可靠性鉴定统计试验方案的选择

对于机载武器进行可靠性鉴定试验需要选取合理的统计试验方案,因为机载武器属于复杂系统,统计试验方案中要综合充分考虑装备的定级水平、试验风险、故障数和可以承受的试验时间。保证装备在规定的研制周期中,通过鉴定试验。

1) 定时截尾统计试验方案。可将机载武器视为一个复杂的电子产品(导弹挂飞可靠性鉴定试验时,火工品、发动机、引信等部件不进行考核),电子产品的寿命服从指数分布。GJB 899A, MIL-HDBK-781 等标准文件中,也给出了电子产品服从指数分布的试验方案。以 GJB 899A 为例,该标准给出了定时截尾试验的标准方案和定时截尾补充方案。目前,实验室武器装备的鉴定试验的统计方案都是按照 GJB 899A 给出的。

2) 机载武器及其设备的可靠性统计试验方案。统计试验方案与试验风险、置信度、试验时间、试验经费等因素密切相关,而这些因素很大程度上能够直接影响到装备的鉴定工作。根据近年来对导弹产品开展可靠性鉴定试验工作的经验,一般来说,对于整弹的试验通常允许受试样件发生 1~2 个责任故障,采用这种试验方案在试验过程中可以有效暴露导弹在一些关键产品上的设计问题,同时试验时间和试验风险也在可承受的范围内。例如某型空空导弹的 MTBF 最低可接受值为 160 h,该导弹为二级产品,则可以选取 GJB 899A 中的方案 20-2 或方案 17,允许导弹系统发生 1 次责任故障;或选取方案 20-3,允许导弹系统发生 2 次责任故障。采用以上的试验方案,可以将总试验时间可以控制在 480~688 h 范围内,试验经费可以承受。

根据长期统计的电子产品故障数据,认为在试验过程中的前 300 h,可以有效暴露产品设计的缺陷,这一阶段也属于产品故障的高发阶段。对于复杂的武器系统,同样也适用于这一特点。允许被试品发生 1~2 次责任故障,不仅能够有效暴露产品的设计问题,而且产品的故障归零后还可在后续的试验过程中有效验证归零措施的有效性。

对于机载武器的设备而言,一般采用零故障方案进行试验。可选取的统计试验方案通常包括: GJB 899A 中的方案 21、方案 10-1、方案 20-1、方案 30-1。

试验方案的选择可以根据多方面因素综合考虑,选取合适的方案进行试验。

5 结语

文中利用可靠性试验的基本原理并结合实验室前期的机载武器可靠性鉴定试验的经验,对机载武器及其双配套设备的可靠性鉴定试验方案进行了论述,分析了各种方案的特点、使用限制条件及优缺点,以便于今后开展该类装备可靠性鉴定试验方案的设计。

参考文献:

- [1] 郭波,武小悦. 系统可靠性分析[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2002: 13—15.
- [2] 李根成. 空空导弹可靠性指标体系研究[J]. 中国惯导技术学报,2006(4): 88—92.
- [3] 侯希久. 关于飞航导弹武器系统的综合鉴定试验方案[J]. 飞航导弹,1998(4): 5—10.
- [4] 李根成,姜同敏. 空空导弹可靠性试验振动应力研究[J]. 振动、测试与诊断,2007(3): 36—39.
- [5] 张艳辉,吴瑞轩. 空空导弹环境试验顺序研究[J]. 装备环境工程,2012,9(4): 89—92.
- [6] GJB 899A—2009, 可靠性鉴定和验收试验[S].
- [7] GJB 841—1990, 故障报告、分析和纠正措施系统[S].
- [8] GJB 450A—2004, 装备可靠性工作通用要求[S].