

机载导弹不开箱测试关键技术分析

肖明清¹, 盛晟¹, 刘沁²

(1. 空军工程大学工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 南京军区空军装备部, 江苏 南京 210018)

摘要 为解决机载导弹二级测试实施过程中存在的问题, 提出了对机载导弹实施不开箱测试, 给出了不开箱测试的需求分析、研究内容和过程以及所需用到的关键技术。不开箱测试有利于提高后勤保障的效率, 提高导弹寿命和使用可靠性。所开展的研究对于不开箱测试的实现具有一定的指导意义。

关键词 机载导弹; 不开箱测试; 关键技术

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.06.011

中图分类号 TP206.1 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)06-0054-06

现行的机载导弹测试采用三级测试的体制:①外场级测试;②内场级测试;③由工厂对导弹进行分舱段测试,主要用于导弹组装之前或故障返厂之后。

导弹的使用单位承担的是一、二级测试。其中,二级测试的实施:①必须要将导弹从弹药库转移至测试场地,这一过程需要一系列的手续,花费一定的人力和时间;②测试的第1个步骤是“导弹出箱”,然后将机载导弹裸露地放置在一个平台上进行测试。转场和测试过程存在如下问题:①导弹需要转场、出箱、装箱,整个过程费时费力,约束了后勤保障的效率;②存在容易对导弹造成损害的不安全因素(装卸、接触外界环境、不熟练或错误的人工操作等),影响了导弹的寿命和使用可靠性。

如何避免或者降低这些问题的影响成为导弹测试领域的一个新课题,不开箱的条件下对导弹进行测试,是该课题的一个研究方向。

1 不开箱测试的研究内容和过程

不开箱测试需要带着包装箱进行,包装箱的设计是一个关键;其次,现有导弹的可测试性设计均是针对开箱条件下测试设计的,不开箱测试还牵涉到导弹的改进设计;另外,不开箱测试的测试系统也有别于开箱条件下的测试系统,测试系统的设计也是需要考虑的方面。

因此,确立某型导弹为研究对象后,需要研究的内容有:①对导弹的设计提要求,对包装箱的设计提要求,对测试系统的设计提要求;②给出“导弹-包装箱”系统的设计方案;③给出测试系统的设计方案;④实现不开箱条件下导弹的测试。

2 不开箱测试需求分析

需求分析解决的是对研究对象测试所必须满足的前提是什么的问题。因此,需求分析需要基于“弹-箱”系统的寿命周期模型来展开。

不开箱测试的实施,将使“弹-箱”系统的寿命周期模型发生改变,见图1。

* 收稿日期:2011-09-30

基金项目:国防预研基金资助项目(51317XXX003)

作者简介:肖明清(1963-),男,湖南常德人,教授,博士生导师,主要从事武器装备测试自动化与智能化研究。

E-mail:afeusheng@126.com

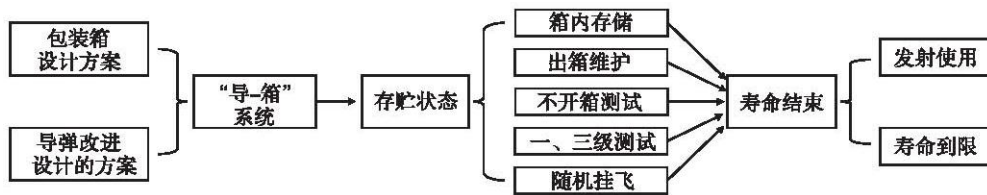


图1 “弹-箱”系统寿命周期模型的变化

Fig. 1 Changes in the life cycle of missile

2.1 包装箱的设计要求

包装箱的设计需要满足导弹的存储(包括运输、存放等)、出箱和装箱,另外,不开箱测试过程中,包装箱将直接与测试设备进行联接,所有需要测试的项目,都要通过包装箱反映给测试设备,且要通过设计包装箱降低测试复杂度,减小或消除对导弹的伤害等。可以从以下几方面对包装箱的设计提要求。

1)可测试性。包装箱需要与测试设备直接交联,从某种意义上说,包装箱也是被测对象的一部分,设计包装箱需要充分挖掘可测试性设计技术。

2)弹、箱之间的相融性。包装箱的任何设计都影响着包装箱内的机载导弹,如何保证包装箱与导弹的交联是最优。

3)包装箱的设计特性。如费用、重量、体积、包装箱的制作难度等。

4)实际使用。包装箱的设计应方便运输、堆垛放置、导弹装箱、导弹出箱等实际使用。

2.2 导弹的设计要求

不开箱测试过程中,导弹始终被置于包装箱中,另外,导弹还需要适应箱内存储、出箱维护、装箱、一/三级测试以及随载机挂飞等,除去导弹设计需要综合考虑的各方面因素之外,实施不开箱测试对导弹改进设计的要求可从以下几方面考虑。

1)可测试性。尽管导弹不再直接联接测试设备,但通过对导弹的可测试性设计,可以降低包装箱的设计难度和复杂度,充分利用可测试性设计技术是在对导弹进行改进设计的过程中需要挖掘的方面。

2)弹、箱之间的相融性。弹、箱之间的相融性跟包装箱和导弹都相关,在导弹进行改进设计的过程中同样需要考虑弹、箱之间的相融性。

3)机、弹相融性。导弹的使用需要通过挂飞在载机上才可以实现,对导弹所做的改进设计必须保证导弹与载机之间具有良好的相融性。

4)作战使用。导弹的作战使用是其寿命周期中最为关键的环节,因需要实施不开箱测试而对导弹所做的改进,必须同时为作战使用服务。

2.3 测试系统的设计要求

不开箱条件下对某型导弹的测试,将是某型导弹不出弹药库、不出包装箱状态下的测试,测试环境、测试条件有别于开箱测试,测试系统的设计必然有别于开箱条件下的测试系统,可以从以下方面考虑不开箱条件下的测试系统设计。

1)测试方法对测试系统设计的要求。不开箱条件下使用什么样的测试方法对来自箱内的测试项目进行测试是设计测试系统需要考虑的问题。

2)“人-机-环境”对测试系统设计的要求。如何使所设计的测试系统对测试人员是友好的,即人、机之间的交互是优化的;另外,不开箱条件下的测试在弹药库中进行,导弹在弹药库中的存放是有标准和原则的,在这些标准和原则的约束下如何设计测试系统。

3)通用性、扩展性以及系统的使用维护等对测试系统设计的要求。弹药库中通常不只存放一型导弹,不开箱条件下对导弹进行测试应尽量避免弹药库中测试设备的多样性;另外,武器装备是发展的,会不断有新的装备诞生,需要考虑测试系统的扩展性。

3 不开箱测试的关键技术

实现不开箱测试,需要依据需求分析开展设计活动——设计“导弹-包装箱”系统、设计测试系统。因此,需要用到的关键技术如下。

3.1 安全性工程

安全性指“不发生事故的能力”^[1]、“不导致人员伤亡,危害健康及环境,不给设备或财产造成损坏或损伤的能力”^[2]。

为保证测试过程中测试人员、被测的“弹-箱”系统、测试设备以及弹药库的安全,必须在系统的设计活动中引入安全性工程。

3.1.1 安全性分析

安全性分析针对设计对象寿命周期的各个阶段进行安全性检查和分析,确定设计对象各类隐含的危险,对这些危险的破坏性进行评估,同时需要对消除或减少危险的方法进行研究。

对于一个系统,危险性主要存在于3个方面:①对人员的潜在危险;②对装备的潜在危险;③对环境的潜在危险。

根据图1的寿命周期模型,对于不开箱测试,应针对导弹的存贮状态(包括各个存贮状态之间的相互转换过程)、寿命终结状态,以及存贮状态向寿命终结状态转换的过程,分别对人员、装备和环境进行潜在危险的分析和评估,并研究解决办法。

3.1.2 安全性设计

安全性设计,指通过设计活动保证装备的安全性,消除或减少装备的潜在危险。

对于一个系统,安全性设计活动主要通过3个方面来开展:①人的安全性设计;②装备的安全性设计;③环境的安全性设计。

人在系统中属于可靠性较为薄弱的环节,由人为因素所引起事故比例通常是最高。因此,根据图1的寿命周期模型,需要在各个阶段规范人的操作程序、强化人的训练并进行防错设计等。

对于“弹-箱”系统、测试系统,可通过提高密闭性、绝缘性设计、接地设计等保证箱内存储的安全;通过加装减震装置、采用自动出箱/装箱的方式等保证导弹出箱/装箱过程的安全;通过防插错设计、过流/过压保护设计等保证不开箱测试过程中的安全性;通过继承当前的导弹安全性设计方法保证导弹一/三级测试、随装机挂飞的安全性。

对于环境,可通过加强温/湿度控制、合理设计“弹-箱”的存放规则(如堆垛的层数、间距)等保证“弹-箱”系统在库中存储及不开箱测试过程中的安全性。

3.1.3 安全性验证

需要在给出设计方案的同时进行安全性验证,安全性验证的方法主要有分析、检查、演示和试验^[3]:①在概念设计以及详细设计阶段,主要通过分析的方法对设计方案的安全性进行验证;②当设计进入样机测试阶段,需要通过外部检查或测试的方法以及试验性的演示进行安全性验证;③对于装备的重要部件或处于关键的研究阶段,根据需要可以采用安全性试验的方法进行验证。

3.2 可测试性设计

可测试性指产品能及时准确地确定其状态(可工作、不可工作、性能下降),隔离其内部故障的设计特性^[4]。以提高可测试性为目的进行的设计活动被称为可测试性设计。

为保证不开箱测试项目的完备性,需要充分挖掘可测试性设计技术。导弹在测试过程中被置于包装箱内,导弹的可测试性设计是需要创新的地方;包装箱与测试设备直接交联,包装箱的设计也牵涉到可测试性设计;另外,测试过程需要在弹药库中进行,“弹-箱”系统的可测试性设计还必须考虑弹药库中的存放条件和存放原则。

“弹-箱”系统的测试性不仅与不开箱测试相关,而且与一、三级测试相关。因此,对“弹-箱”系统的测试性分析和设计应从3个相互关联的层面展开。

3.2.1 测试项目划分

总结机载导弹二级测试项目及对应的信号,导弹与测试系统之间相互交联的信号量分类见图2。

不开箱测试中,图2中所示的各类物理量仍需要在导弹与测试系统间相互交联,且每一类物理量的传输有其各自的特点。因此,可以分别对各类物理量选择测试方法。

机载导弹二级测试
的相关信号量

- 可见光
- 红外辐射
- 雷达波
- 力矩
- 模拟量
- 数字量
- 射频信号
- 气压信号

图2 二级测试中的相关信号量

Fig.2 Some related signals in depot test

3.2.2 测试方法选择

以某型导弹的电视导引头为例,测试过程中需要向导引头输入可见光,并接收来自弹上图像发送天线传来的无线射频图像信号,另外,还需要向弹上的指令接收天线发送捕控指令。

1) 可见光加载至导引头。可以采用的方法有:① 将模拟可见光的目标模拟器置于包装箱内部;② 将模拟可见光的目标模拟器置于包装箱外部,并使得导引头前端的包装箱箱体采用透光材料。

2) 射频图像信号传输至测试系统以及捕控指令信号传输至导弹。可以采用的方法有:① 使得包装箱的箱体可以透过无线射频信号;② 测试系统与包装箱之间采用有线的射频连接,包装箱内部安放有天线,天线安放的位置和角度等应不妨碍弹、箱间的射频信号传输,此时,包装箱箱体需要提供箱内天线和箱外的射频插座间的连接。

3.2.3 测试性验证

需要对所给出的测试方法进行分析和验证,以判断其是否满足测试性设计要求。测试性验证的内容一般包括:① 系统运行检查发现异常的能力;② BIT 检测和隔离故障的能力;③ UUT 与所选择的测试设备的兼容性;④ 测试设备和相应的测试接口组合检测和隔离故障的能力;⑤ 有关故障字典、探测步骤、人工查找故障程序和工作原理等方面的技术文件的充分性;⑥ BIT 故障检测和故障隔离指示与脱机测试结果之间的符合程度;⑦ 用于预计测试性指标的模型的有效性。

3.3 机电一体化设计

机电一体化设计,指通过合理的设计达到机电的有机结合。

“弹-箱”系统和测试系统本身都包括机械、电气部分,在设计活动中引入机电一体化设计,可以增强弹、箱之间的相融性,保证机、弹之间的相融性,并且对于促进可测试性以及安全性等都有帮助。

文献[5]阐述了机电一体化设计的实现过程:机电一体化设计主要应用于装备的设计过程中,即从概念设计到详细设计再到样机测试阶段。① 在概念设计阶段,机械设计和电气设计需要相互沟通设计信息,可以利用 CAD 等工具实现可视化的信息交流;② 在详细设计阶段,可借助于 EDA、MDA 工具及它们之间的接口,实现 PCB 三维模型布局、三模拟布线、整机热分析等功能,另外,借助于 EMC 和 MDA 软件间的商品化接口,可以实现整机的电磁兼容分析;③ 在样机测试阶段,借助相关的测试仪器对样机进行整机性能测试。

3.4 自动测试系统设计

通常的自动测试系统指“采用计算机控制,能实现自动化测试的系统”,一般包括自动测试设备(ATE)、测试程序集(TPS)和 TPS 软件开发工具^[6]。自动测试系统设计相关的技术有:系统集成技术、虚拟仪器技术、软件开发技术、通用测试语言、故障诊断技术、测试总线技术、各类软件和硬件标准等。

不开箱测试的实现涉及到测试系统的设计,因此需要借助于自动测试系统设计的相关技术作为支持。另外,不开箱测试系统的通用性、扩展性和维护特性等需求也可以通过自动测试系统设计的相关技术得到满足。

3.4.1 分布式测试系统

分布式系统易于构建、扩展和维护,且具有良好的容错性。为满足测试系统的设计要求,需要采用分布式结构构建测试系统。图 3 为所预想的不开箱测试的分布式测试系统。

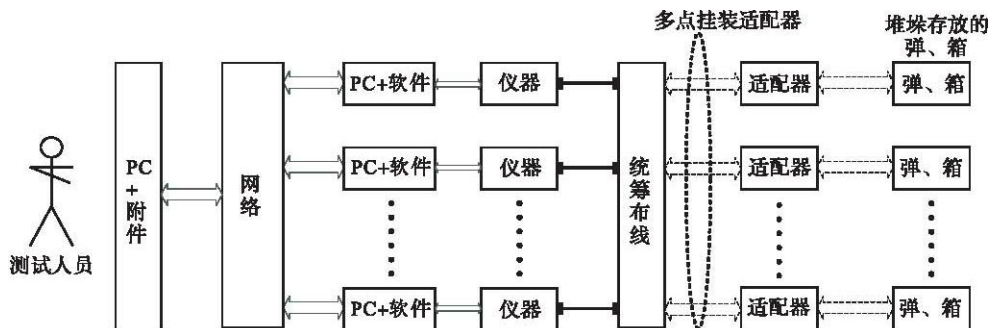


图 3 适用于不开箱测试的分布式测试系统

Fig. 3 Distributed test system that suits airborne missile test with case

图3所示的设计方案可以有效解决不开箱测试对于测试系统设计的需求:①测试方法对系统设计约束的解决寓于各个测试单元中;②“人-机-环境”约束的解决通过在网络上添加子系统来实现(图中的“PC+附件”),附件可以根据需要包含打印机等设备;针对“弹、箱”堆垛存放的空间特性,对从仪器引出的电缆进行统筹布线,通过布线在多点(对应于“弹、箱”的存放位置)设置挂装适配器的接口,解决了弹药库中的空间约束且避免了移动整个测试系统;③扩展性、维护性等由分布式系统结构决定。

3.4.2 并行测试技术

并行测试(Parallel Test)是指测试系统在同一时间内完成多项测试任务,它包括在同一时间内完成多个UUT的测试;在单个UUT上同步或者异步运行多个测试任务,同时完成UUT多项参数的测试;在同一时间内完成多个UUT的多个参数的测试^[7]。采用多处理机的网络结构或主从结构、单处理机的多线程或多进程结构,均可实现测试任务的并行^[8]。

图3所示的分布式测试系统即为典型的多处理机的结构。将分布式系统与并行测试技术结合起来,不仅可以满足测试系统的设计需求,还可以进一步有效提高测试效率和能力,提升后勤保障的效率和能力。

3.5 价值工程技术

价值工程是以识别和消除一个系统、一项工程、一种产品及一道作业中非必要的功能和费用为目的的现代经营管理技术,它通过对产品的功能分析,研究如何以最低的成本去实现产品的必要功能^[9]。

实现不开箱测试所需的成本是决策管理层所关心的重要问题之一,如何保证以最低的研究成本完成必要的功能,这是可以依靠价值工程技术来解决的问题。

GB8223-87对于价值工程实施过程见表1的定义。

因此,在做完“明确对象、组建团队和制订计划”等准备工作之后,需要以所收集的相关信息为依据来确定对象的功能,这是一个典型的需求向功能映射的过程,可以用QFD(Quality Function Deployment, QFD)模型来实现。QFD模型可以实现需求向功能的映射,明确各个功能的特性要求,明确哪些功能需要加强、削弱、添加或删除,完成对功能的分析和评估。

在分析阶段,根据功能分析和评估的结果,进行方案创新,给出设计方案,使得所设计的方案可完成必须的功能且成本最小化,可以利用TRIZ理论和DFC理论来实现,TRIZ称为创新问题解决理论,能指导设计者找到较为理想的设计方法或发明方法,DFC即面向成本的设计,可以实现成本最小化。另外,给出设计方案后,需要选择合适的评价方法对所给出的方案进行评价,根据评价结果对设计方案进行改进。

在项目的最终实施过程中,需要不断地进行检验和评估来控制价值(由于功能已经确定,项目实施时主要是依据设计方案加强成本控制)。

4 结束语

测试是武器装备后勤保障的关键环节,测试效率和能力显著影响着后勤保障的效率和能力,测试方式影响着导弹的寿命和使用可靠性。不开箱测试以“不出库、不出箱”为理念提出,可以有效解决当前机载导弹测试中的导弹转场、出箱、装箱等影响测试效率和能力的问题,并达到提高导弹寿命和使用可靠性的目的。然而,不开箱测试在机载导弹测试领域是一个新问题,缺乏可借鉴的研究先例,从研究过程、研究内容到系统的需求分析以及系统的设计方案都需要做进一步的深入研究。研究并最终实现不开箱测试,对于武器装备的测试乃至后勤保障的发展具有重要作用。

参考文献:

- [1] GJB 900-90. 系统安全性通用大纲[S].
GJB 900-90.General program for system safety[S]. (in Chinese)
- [2] GJB 1405A-2006. 装备质量管理术语[S].

表1 GB8223-87中对于价值工程实施过程的定义

Tab.1 Definition of the processes of VE in GB8223-87

阶段	程序步骤
准备阶段	选择对象→组建工作团队→制订计划
分析阶段	信息收集→功能分析→功能评估
创新阶段	方案创新→方案评价→总结
实施阶段	批准→实施并检验→结果评价

- GJB 1405A - 2006. Terms for equipments quality management[S]. (in Chinese)
- [3] 沈君彦. 飞机安全性设计[C]//飞机发展与设计专业第六次学术交流会论文集. 安顺:中国航空学会飞机发展与设计专业委员会,2007: 31 - 35.
SHEN Junyan. Safety design for aeroplane[C]//Proceedings of the 6th aircraft development and design technology conference. Anshun:Aviation development and design society of professional committee of the aircraft,2007: 31 - 35. (in Chinese)
- [4] GJB 2547 - 95. 装备测试性大纲[S].
GJB 2547 - 95. Testability program for materiel[S]. (in Chinese)
- [5] 蔚保国, 乔福寿, 黄汇川. 基于 PDM 平台的机电一体化技术研究[C]//中国电子学会电子机械工程分会 2003 年论文集. 青岛:中国电子学会,2003: 208 - 216.
YU Baoguo, QIAO Fushou, HUANG Huichuan. Research on electromechanical design integration technology based on PDM platform[C]//Proceedings of Chinese institute of electronics electro - mechanical engineering branch. Qingdao:Chinese institute of electronics,2003: 208 - 216. (in Chinese)
- [6] 李行善, 左毅, 孙杰. 自动测试系统集成技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
LI Xingshan, ZUO Yi, SUN Jie. Integrated technology for automatic test system[M]. Beijing: Publishing house of electronics industry, 2004. (in Chinese)
- [7] 肖明清, 付新华. 并行测试技术及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
XIAO Mingqing, FU Xinhua. Parallel test technology and application[M]. Beijing: National defense industry press, 2010. (in Chinese)
- [8] 夏锐, 肖明清, 朱小平, 等. 并行测试技术在自动测试系统中的应用[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(1): 7 - 10.
XIA Rui, XIAO Mingqing, ZHU Xiaoping, et al. Parallel test in ATS[J]. Computer measurement & control, 2005, 13(1): 7 - 10. (in Chinese)
- [9] 朱铮. 价值工程概论[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
ZHU Zheng. Introduction of value engineering[M]. Beijing: Science press, 1988. (in Chinese)

(编辑:田新华)

Research on the Airborne Missile Test with Case

XIAO Ming - qing¹, SHENG Sheng¹, LIU Qin²

(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Air force Equipment Department of Nanjing Military Area Command, Nanjing 210018, China)

Abstract: To solve the problem of airborne missile depot test, the concept of test with case is proposed. Test requirement, contents and process, key technologies of testing with case are well studied. Test with case can help to promote the logistic supporting efficiency, extend missile life, and enhance the reliability of missile. Our work and research are of instructive significance for the realization of airborne missile test with case.

Key words: airborne missile; test with case; key technologies