

空空导弹系统维修性设计初步研究

周育才

(中国空空导弹研究院 洛阳, 471009)

摘 要:研究了维修性、维修性工程的概念,论述了维修性设计的原则和空空导弹系统维修性的特点,最后提出了维修性主要工作项目的目的和要求。

关键词:维修性 维修性工程 维修性设计

1 维修性工程概述

1.1 基本概念

维修性和可靠性一样是产品固有的质量特性。

维修性是产品在规定的条件下和规定的时间内,按规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复到规定状态的能力。或者说,维修性是在规定的约束(维修条件、时间、程序与方法)下能够完成维修的可能性。

维修是为使产品或装备保持或恢复到规定状态所进行的全部活动,包括维护与修理,可划分为预防性维修和修复性维修。

维修性工程是为了达到产品的维修性要求所进行的一系列设计、研制、生产、试验和管理工作。维修性工程和可靠性工程类似,也包括设计、试验和管理三部分内容。

1.2 维修性设计的重要性

1.2.1 维修性是决定武器装备作战效能的重要因素 武器装备的作战效能

$$E = A \cdot D \cdot C$$

式中, A 为武器装备的可用量,包括可靠性、维修性、保障性; D 为武器装备的可信度,包括任务可靠性、任务维修性、安全性、生存性; C 为武器装备的固有能。

1.2.2 维修性对寿命周期费用有重大影响

据统计,武器装备的维修保障费用约为装备购置费用的 3~20 倍,在研制阶段投入 1 美元用于改进维修性设计,则可减少寿命周期费用 50~100 美元,维修保障费用约占武器装备寿命周期费用的 2/3

以上。

1.2.3 维修性是可靠性的重要补充和延续

可靠性是为保证武器系统在作战使用阶段避免或减少出故障而采取的设计、工艺措施。维修性保证产品出故障前继续保持其可靠性,出故障后迅速有效经济地排除故障恢复到原有状态。维修性设计和维修活动都是以可靠性为中心展开的。因此维修性是可靠性的重要补充和延续。

1.2.4 维修性是使武器系统具有竞争能力的重要质量特性

武器系统具有良好的维修性才能满足用户要求的使用方便、效费比高、使用寿命长,保证武器系统具有满意的战备完好性、任务成功性和较低的维修保障费用。

1.3 衡量维修性设计优劣的原则

1.3.1 维修性设计的目标

(1) 满足空空导弹系统作战使用要求

应满足战备完好率、使用可用度、使用强度(值班待命时间、升空作战时间和频数等)、任务可靠性、允许的修复时间等要求。

(2) 与其他质量特性综合权衡

在保证空空导弹系统具有规定的战备完好性、任务成功性和较低的寿命周期费用前提下,维修性设计应与性能设计、可靠性、安全性和保障性设计密切协调、同步,综合权衡取得最佳方案。其中尤其应重视以可靠性为中心的维修性设计,即维修性设计及一切维修活动,最终都是为了保持和恢复装备的固有可靠性,并强调维修性设计与保障性设计应密切协调,相互提供信息输入和要求。

1.3.2 维修性设计的原则

(1) 降低维修的复杂性。简化产品的结构和功

能,简化维修内容和操作,降低维修频数,降低维修技能要求,以减少维修时间和维修保障费用。

(2)提高标准化、通用化、模块化程度,使互换性达到最大。应最大限度地采用标准化的元器件、零部件、工具和仪器,压缩其品种、规格和生产厂家,优先选用型号通用的零部件、模块和工具,以利于维修时互换,并减少备件品种。

(3)具有良好的维修可达性。应保证维修部位“看得见,够得着”,可达性好是维修迅速、简便、差错少的重要条件。

(4)减少维修时间,减少维修保障费用。为保证导弹系统具有战备完好性,应最大限度地减少维修时间,优先保证基层级(外场)和中继级(内场)维修时间最短。对于装卸频繁的结构连接和电气连接应具有快速装卸设计。如发射装置与载机、导弹与发射装置、导弹各舱段之间的连接。

(5)具有完善的防差错措施和识别标志。要从结构设计上消除差错的可能性,如使结构或电气连接正确了才能装上,否则装不上。恰当的标志可防止差错并提高维修效率。

(6)保证维修安全。维修安全是指维修操作时防止人员、产品损伤。应保证维修时火工品的安全,以及防机械损伤、防电击、防静电、防辐射、防火、防爆、防毒等。

(7)具有良好的测试性,故障诊断和隔离应准确、快速、简便。通常故障诊断和隔离时间占维修时间的60%~90%。因此,应广泛采用自动化测试技术,优先采用机内测试(BIT);尽量采用原位检测和不解体检测;合理设计测试设备、测试方式和测试点配置。

(8)符合维修中的人素工程要求。减少体力繁重的维修项目,保证维修人员有合适的作业姿势,维修环境应有利于提高维修作业效率,重要信号应有醒目的指示,等等。

2 空空导弹系统维修性特点

(1)空空导弹为一次性使用的武器,在后勤阶段(贮存、待命)属于可维修系统,在挂飞和自主飞阶段为无维修系统。

(2)发射装置和地面测试设备为多次使用的装备,除发射装置在挂飞阶段不可维修外,其余均属可维修系统。

(3)导弹内某些成败型产品基本不可维修、不可测试,如固体火箭发动机、战斗部、热电池、燃气发生器等。导弹制导控制系统(导引头、舵机、飞控)

为可测试、可维修的。

(4)为保证规定的任务可靠性,导弹在执行任务(起飞和发射)前要对主要功能测试,并要求有高故障检测率和低虚警率。

(5)为简化基层级(外场)维修,空空导弹在随载机起飞前主要通过BIT自检发现故障,对故障弹全弹更换。

(6)由于导弹通电寿命有限,应最大限度地减少短寿命件在预防性维修和贮存期间的通电测试时间。

(7)为简化维修,中继级维修对故障弹只更换舱段。舱段(或组件)级以下层次产品的维修全部由基地级承担。

(8)为保证导弹系统的任务成功性和战备完好性,最大限度地提高可靠性,减少维修至关重要。除贵重件应设计成可修复之外,一般部件可采用无维修或少维修设计。

3 空空导弹系统维修性设计主要项目

维修性工程是一门涉及专业面较宽,包含的工作项目较多的工程学科。为保证实现维修性要求,在开展维修性设计的初级阶段,建议主要做好以下工作项目。

3.1 制定型号的维修性大纲和工作计划

维修性大纲和工作计划是研制阶段维修性活动的顶层设计文件,和可靠性大纲一样,应尽早(论证阶段)制定。大纲应有针对性,即结合型号特点,要求明确、具体、可操作、可考核。不考虑产品具体特点和型号研制特点,照抄通用大纲或其他型号大纲是不可取的。

3.2 明确型号维修性的定量和定性要求

(1)型号维修性定量要求

使用方根据战备和作战需求,利用维修工程的分析方法提出型号系统或分系统级的维修性指标。承制方应论证使用方要求的指标是否经过努力可以实现,最后通过双方协调在文件中确定下来。承制方据此进行维修性分配和维修性设计。

表1列出了空空导弹系统的维修性、测试性指标。

(2)型号维修性定性要求

根据《型号研制总要求》或《型号研制合同》中对维修性设计的定性要求、空空导弹维修性设计原则(本文中第1.3.2节)及其有关标准规范制定型号的维修性定性要求,其中包括型号的维修性设计准则。

表 1 空空导弹系统维修性、测试性指标

分系统		空空导弹			发射装置			地面检测设备	
维修级别		1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级	1、2 级	3 级
维修性	平均修复时间	△	△	√	△	△	√	△	√
	最大修复时间	△	√	√	√	√	√	√	√
	平均预防性维修时间	√	√		√	√		√	
测试性	故障检测率	△	△	△	△	△	△	△	△
	故障隔离率	△	√	√	△	√	√	√	√
	虚警率	△	√	√	△	√	√	√	√

注: △ 表示必须的, √ 表示适用的; 1 级为基层级, 2 级为中继级, 3 级为基地级。

3.3 制定并实施维修性设计准则

和可靠性设计准则一样, 型号的维修性设计准则应充分吸收国内外有关型号、产品设计的成熟经验和失败教训, 将型号研制任务书或技术规范中的维修性要求转换成产品设计时能直接操作的具体要求, 并在研制过程中不断完善。

美军标 MIL - STD - 470B《系统和设备维修性大纲要求》的起草人 B. L. Retterer 等人介绍, 美国工程界认为维修性设计准则在维修性工作项目有效性、重要性排序中占据首位^[6]。可见, 维修性设计准则在型号研制中的重要作用。

3.4 维修方案

维修方案是对装备采用的维修级别、维修原则、各维修级别的主要工作等的描述^[7]。维修方案制定的依据主要是使用方对武器系统的使用要求、使用环境、可用性要求、维修保障要求、装备数量及部署等。因此维修方案主要由使用方确定, 但在目前国情下研制阶段由研制方根据使用方要求制定出维修方案, 并征得使用方认可, 是切实可行的途径。维修方案是维修性设计的主要依据, 是空空导弹系统总体方案的重要组成部分, 应在方案阶段完成。维修方案内容包括: 维修体制分级、各维修级别的主要任务、维修原则、预防性维修与修复性维修、修理策略、维修保障系统的配置、对各级维修人员的技术水平要求、维修性指标及分配、维修性设计准则等, 其中最后二项可列为单独工作项目。

3.5 维修性分析

维修性分析是根据合同对维修性设计要求, 利用产品研制信息和数据, 分析产品维修性是否满足要求, 对维修性设计方案进行权衡研究, 为维修性设计准则提供依据, 为确定维修策略和维修保障资源提供数据。

维修性分析内容包括: 以保证任务成功性和战

备完好性为目标, 确定外场和内场可更换单元相应的产品层次, 确定各维修级别的维修性指标, 维修安全性, 各维修级别的故障检测和隔离方案, 对各级测试性指标确认, 预防性维修分析等。对于不符合维修性设计要求的项目应采取设计改进措施, 并落实到相应技术文件和产品上。

3.6 维修性分配

目的是把系统级指标分配到低层次产品, 作为各层次产品维修性设计的依据。

维修性指标应逐层分配, 直到现场可更换单元。分配的维修性指标应纳入相应的产品研制任务书。

3.7 维修性预计

预计各层次产品可达到的维修性水平是否满足指标要求, 为设计决策提供依据。及时发现维修性设计缺陷, 以改进设计。考虑产品技术状态更改对维修性的影响。

应对系统、分系统、舱段(组件)各级产品在各维修级别的维修性参数预计。重点是现场可更换单元(LRU、SRU)的修复时间预计。

3.8 故障模式及影响分析(FMEA)——维修性信息

利用可靠性设计所完成的 FMEA, 可获得维修性、测试性信息。在此 FMEA 基础上从维修性设计的角度进一步分析, 包括故障预估、故障检测隔离方法、确定修复性维修活动等。FMEA 的分析层次应到相应维修级别可更换单元的下一层次。如基层级现场可更换单元为全弹, 则 FMEA 应分析到舱段(组件级)。中继级的内场可更换单元为舱段(组件), 则 FMEA 应分析到分组件级。根据 FMEA 结果可提供诸如故障检测和隔离单元设计要求、测试点配置、故障修复作业量等有关信息。

3.9 建立数据收集、分析和纠正措施系统

该系统也称维修性数据收集系统。目的是收集研制、生产、使用阶段的维修性数据与信息, 识别并报告不符合要求的维修性问题, 通过分析采取纠正措施, 实现维修性增长。

该系统应纳入型号的 FRACAS 及质量与可靠性信息系统, 并且应收集所有维修活动中的维修性任务时间数据, 应能反映维修性、测试性和诊断设计问题, 为制定纠正措施提供依据。

3.10 维修性评定

维修性评定的目的是利用收集到的维修性数据, 评定产品的维修性与规定的要求符合程度, 为改进产品维修性提供依据。

(1) 定性评价

通过对产品维修性设计有效性的分析和维修作

业演示等手段,评价维修性定性要求(型号维修性设计准则、合同及有关规范)符合程度。

(2) 定量评定

利用收集的维修性数据,按 GJB 2072—94《维修性试验与评定》的方法,评估产品维修性参数是否达到指标要求,并提出改进建议。

3.11 维修性验证

(1) 分析验证

分析验证的主要途径有:

- 通过较准确的维修性预计验证;
- 通过 FMEA 定性评价产品的维修性;
- 利用研制过程中维修性设计结果评价产品的维修性;
- 利用相似产品的维修性验证或评定结果,对比分析评价产品的维修性。

(2) 试验验证

利用维修性试验或现场使用中得到的维修性数据评估产品的维修性参量。维修性试验计划的制定和实施方式按 GJB 2072—94 的规定。

3.12 维修性评审

维修性评审的目的是检查、评价和监督型号维

修性大纲和工作计划实施效果、型号各层次产品维修性是否符合规定的要求,并作为转阶段的重要依据。维修性评审可以和设计评审、可靠性评审结合进行,也可单独进行。结合进行时必须有特定程序保证有一定时间进行维修性方面内容的评审,并有可靠性、维修性方面的专家参加。必要时可安排专题评审,如对型号维修性大纲等顶层文件的评审、某些维修性工作项目评审等。

参 考 文 献

- 1 陈万创. 防空导弹武器系统维修性设计综述. 自动驾仪与红外技术, 2002, (4)
- 2 陈学楚. 现代维修理论. 北京: 国防工业出版社, 2003
- 3 甘茂治. 维修性设计与验证. 北京: 国防工业出版社, 1995
- 4 林玉琛. 防空导弹武器系统维修工程. 北京: 宇航出版社, 1994
- 5 相为民. 可靠性维修性保障性总论. 北京: 国防工业出版社, 1995
- 6 杨启善主编. 可信性标准应用导引. 北京: 中国标准出版社, 2000
- 7 GJB 3872—99 装备综合保障通用要求

· 国外信息 ·

以色列披露双波段红外成像格斗导弹

以色列空军将于 2005 年年初开始使用高敏捷性的怪蛇 4 近距格斗导弹的红外成像制导型——怪蛇 5。

以色列制导武器开发商拉菲尔公司披露怪蛇 5 时称: 该导弹将首先挂载在以色列空军的 F-16 战机上。新型号采用了与怪蛇 4 相同的弹体结构。它的高敏捷性是依靠气动力面, 而不是推力矢量控制技术实现的。

怪蛇 5 采用焦平面阵列替代怪蛇 4 的“准成像”导引头, 从而提高了导弹的抗红外干扰能力, 并允许选择瞄准点。该导引头提供“可识别的”目标图像, 因此, 制导计算机可以选择最有效的攻击点。当怪蛇 5 攻击战斗机类飞行器时, 就能知道目标机座舱盖略靠后的地方是最有效的攻击点。

怪蛇 5 的研制标志着以色列已进入了很少一部分有能力研制红外成像空空导弹的国家之列。目前, 只有法国和英国已经研制出服役的红外成像导

弹——红外型麦卡(MICA)和 ASRAAM。

美国的 AIM-9X 和德国的国际合作型 IRIS-T 也是正在研制的红外成像格斗导弹。AIM-9X 已开始小批量生产并进行了服役鉴定。南非、俄罗斯和乌克兰也希望进入这一领域。

据拉菲尔公司的一位高级官员透露, 怪蛇 5 采用了以色列研发的致冷型焦平面阵列, 导引头在两个波段内工作, 以提高其抗干扰能力。试验表明该导弹能够攻击正在投放曳光弹诱导导弹的目标。其导引头跟踪装置可暂时跟踪曳光弹, 然后将其抑制掉, 跟踪真正目标。该官员称, 弹载计算机可对两个波段的图像进行比较, 并且利用软件算法预测目标的动作。

虽然怪蛇 5 的研发工作开始于 1997~1998 年, 但拉菲尔对红外成像导引头技术的研究已十年有余。1993 年, 怪蛇 4 进入以色列空军服役。

除了更换导引头外, 拉菲尔还对导弹上的信号处理器进行了升级, 并增加了一个光纤陀螺惯性导航系统。导弹可使用发射前锁定和发射后锁定

两种模式。在前一种情况下, 当导引头截获目标时, 驾驶员会接收到一个音响信号。

怪蛇 4 发射后到自炸最大时间为 40 s, 而怪蛇 5 则是其 2 倍。当固体发动机燃烧时间同样是 7~8 s 时, 在发射后锁定模式中, 导弹飞行时间的加长有助于攻击距离更远的目标。

怪蛇 5 的试验表明, 该导弹可在距目标 15 海里的距离上发射。发射后, 导弹上仰飞行, 依据发射前机载雷达提供的数据, 预测目标的位置。在此项试验中, 导弹导引头在 5 海里处被激活并锁定目标。

该官员称, 这种攻击需要导引头具备较大的视场, 以使目标机始终处于导弹捕获“篮筐”之内。在发射后锁定模式的更多试验中计划将发射距离扩大至 15 海里以外。

怪蛇 5 的研制资金由以色列国防部提供, 生产线的启动预计在 2004 年。以色列空军已经使用挂飞弹进行训练和战术研究。

(王万红 王秀萍)